

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE DOS ÁCIDOS GRASOS OBTENIDOS A  
PARTIR DEL ACEITE ESENCIAL DE NARANJA Y ACEITE VEGETAL DE AGUACATE EN  
LA FORMULACIÓN DE UN FLUIDO SINTÉTICO A NIVEL DE LABORATORIO**

**MARIA CAMILA CARVAJAL VEGA  
HEIDY DAYANA MUNEVAR LEÓN**

**Proyecto Integral de grado optar el título de:  
Ingeniería de Petróleos**

**Orientador:  
Nelson Fernández Barrero  
Ingeniero de Petróleos**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍAS  
BOGOTÁ D.C.**

**2021**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Jorge Andrés Tovar  
Firma del Director

---

Firma del Presidente Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

---

Nombre  
Firma del Jurado

Bogotá D.C. Julio de 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigación

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. Julio César Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería de Petróleos

Ing. Juan Carlos Rodríguez Esparza

## DEDICATORIA

*Este trabajo y esfuerzo se lo debo principalmente a Dios, quien es mi guía constante, la siguiente persona mas importante en mi vida es mi madre, quien se ha encargado de enseñarme la tenacidad que uno debe tener en la vida para lograr todo lo que uno se propone, a toda mi familia quienes no dudan ni un segundo en mi. Debo mencionar a todas esas personas que contribuyeron en este nuevo proceso de mi segunda carrera y que estuvieron conmigo para afrontar cualquier desafío que se me interpusiera. Finalmente, quiero agradecer a la vida por haber encontrado en este camino una persona tan importante, quien me ayudo en cada una de las etapas de este proyecto y quien sin esperar nada a cambio dio todo para que yo lograra esto. ¡Gracias Dios por todo lo que me das y lo que se viene!*

**María Camila Carvajal Vega**

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, en la memoria de mi abuela quién me animó en este campo de estudio y sus consejos siempre estarán en mi memoria y a mi familia quienes con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.*

**Heidy Dayana Munevar León**

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, expresar un gran agradecimiento al director de esta tesis, el ingeniero Jorge Andrés Tovar, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto, las sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza ofrecida desde el principio del proyecto. Asimismo, agradezco a el Ingeniero y profesor Nelson Fernández por su apoyo personal y de orientación de conocimiento durante esta etapa.*

*Un trabajo de investigación es siempre el desarrollo de ideas, y esfuerzos previos de otras personas. En este caso el más sincero agradecimiento a la ingeniera y coordinadora de laboratorio Yenny Hernández, gracias por su amabilidad, su tiempo y su disponibilidad siempre en los laboratorios de la Fundación Universidad América. Finalmente, gracias a la Fundación Universidad de América y sus colaboradores los cuales con sus valiosas sugerencias y apoyo en cada etapa del desarrollo de esta investigación se alcanzaron las metas planteadas. Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión. Pero, sobre todo, gracias a mi compañera de proyecto María Carvajal, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, el resultado de este esfuerzo es de las dos.*

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>19</b>
<b>1.1. Ácidos grasos</b>	<b>19</b>
1.1.1. <i>Obtención de los ácidos grasos</i>	20
1.1.2. <i>Hidrólisis Ácida</i>	24
<b>1.2. Fluidos de perforación</b>	<b>25</b>
1.2.1. <i>Clasificación principal de los fluidos de perforación</i>	25
<b>1.3. Fluido de perforación base aceite</b>	<b>26</b>
1.3.1. <i>Lodo convencional sintético</i>	27
1.3.2. <i>Lodo base aceite emulsión inversa</i>	27
<b>1.4. Factores que afectan la selección de los fluidos de perforación</b>	<b>28</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>29</b>
<b>2.1. Fase I: Extracción de los ácidos grasos</b>	<b>30</b>
2.1.1. <i>Desarrollo Experimental</i>	32
<b>2.2. Fase II: Diseño de un fluido de perforación base aceite convencional</b>	<b>37</b>
<b>2.3. Fase III: Diseño de dos fluidos de perforación base aceite sintético-emulsión inversa</b>	<b>40</b>
<b>2.4. Fase IV: Elaboración de pruebas a nivel de laboratorio</b>	<b>41</b>
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>44</b>
<b>3.1. Análisis de Fase I: Extracción de los ácidos grasos</b>	<b>44</b>
3.1.1. <i>Análisis de la obtención de los ácidos grasos N</i>	44
3.1.2. <i>Análisis de la obtención de los ácidos grasos A</i>	46

3.1.3. <i>Análisis de los Ácidos Grasos Libres</i>	47
<b>3.2. Formulación final de la Fase II: Diseño de un fluido de perforación base aceite convencional</b>	<b>49</b>
<b>3.3. Formulación final de la Fase III: Diseño de dos fluidos de perforación base aceite sintético - emulsión inversa</b>	<b>52</b>
<b>3.4. Análisis de Costos</b>	<b>54</b>
<b>3.5. Control de propiedades de la Fase IV: Elaboración de pruebas a nivel de laboratorio</b>	<b>58</b>
3.5.1. <i>Resultados de pruebas de laboratorio fluido base aceite convencional</i>	58
3.5.2. <i>Resultados de laboratorio fluido base aceite sintético-emulsión inversa</i>	73
<b>3.6. Comparación Final de resultados</b>	<b>84</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>86</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>94</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Clasificación y Propiedades Físicas	19
Figura 2. Hidrólisis de Grasas y Aceites	21
Figura 3. Características y Métodos de la Extracción del aceite	22
Figura 4. Métodos de Extracción	23
Figura 5. Hidrólisis Ácida de Grasas y Aceites.	25
Figura 6. Clasificación Principal de los Fluidos de Perforación.	26
Figura 7. Factores que afectan la selección de los fluidos de perforación	28
Figura 8. Metodología de la Investigación.	30
Figura 9. Materias primas	31
Figura 10. Diagrama de flujo de la extracción de ácidos grasos.	32
Figura 11. Ácidos grasos y soda cáustica	33
Figura 12. Proceso de calentamiento de los ácidos grasos y soda cáustica	33
Figura 13. Adición de agua destilada y formación de jabón	34
Figura 14. Dilución de ácido sulfúrico	34
Figura 15. Separación de fases orgánica y acuosa	35
Figura 16. Adición de agua destilada y Metil-naranja.	35
Figura 17. Separación de los ácidos grasos	36
Figura 18. Adición de sulfato de sodio anhidro	36
Figura 19. Almacenamiento de los ácidos grasos	37
Figura 20. Pruebas Físicas de Los Fluidos de Perforación	42
Figura 21. Ecuaciones para el Cálculo de Pruebas Físicas.	43
Figura 22. Pruebas Químicas de Los Fluidos de Perforación.	43
Figura 23. Ácidos grasos extraídos del aceite esencial de naranja.	45
Figura 24. Ácidos grasos extraídos del aceite vegetal de aguacate	47
Figura 25. Determinación del tamaño de muestra	48
Figura 26. Comparación resultados propiedad Densidad	66
Figura 27. Comparación resultados propiedad Viscosidad Plástica	67
Figura 28. Comparación resultados propiedad Punto Cedente	68
Figura 29. Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles Instantáneos	69

Figura 30. Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles 10 minutos	69
Figura 31. Comparación resultados propiedad Filtrado HT/HP	70
Figura 32. Comparación resultados propiedad Estabilidad Eléctrica	72
Figura 33. Comparación resultados propiedad de Potencial de Hidrógeno	73
Figura 34. Titulación prueba Alcalinidad	73
Figura 35. Comparación resultados propiedad Química de Alcalinidad	75
Figura 36. Titulación prueba de salinidad	76
Figura 37. Comparación resultados propiedad Química de Salinidad	78
Figura 38. Comparación resultados propiedad Densidad lodo de Aguacate	80
Figura 39. Comparación resultados propiedad Viscosidad Plástica lodo de Aguacate	81
Figura 40. Comparación resultados propiedad Punto Cedente lodo de Aguacate	82
Figura 41. Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles Instantáneos lodo de Aguacate	83
Figura 42. Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles 10 minutos lodo de Aguacate	83
Figura 43. Modelo Plástico de Bingham	84
Figura 44. Comparación resultados propiedad de Potencial de Hidrógeno lodo de Aguacate.	85
Figura 45. Comparación resultados propiedad química de Alcalinidad lodo de Aguacate	86
Figura 46. Comparación resultados propiedad química de salinidad lodo de Aguacate	88
Figura 47. Estado lodo de aguacate después de 15 días almacenamiento	88

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición Química del Aceite Esencial de Cascara de Naranja.	21
Tabla 2. Composición de Ácidos Grasos para Diferentes Aceites Vegetales	24
Tabla 3. Formulación Lodo Base Aceite Convencional 100% aceite	38
Tabla 4. Formulación Lodo Base Aceite Convencional 70/30	39
Tabla 5. Formulación de Salmuera	39
Tabla 6. Formulación de los Lodos Base Aceite Sintético-Emulsión Inversa 70/30	40
Tabla 7. Formulación Salmuera de Ácidos Grasos	41
Tabla 8. Porcentajes de ácidos grasos libres	49
Tabla 9. Formulación del paper de referencia del fluido patrón.	50
Tabla 10. Formulación de réplicas lodo base 100% Aceite	51
Tabla 11. Formulación de réplicas lodo base aceite 70/30.	52
Tabla 12. Formulación lodo base aceite 70/30 sintético-emulsión inversa.	53
Tabla 13. Formulación de Salmuera para replicas.	53
Tabla 14. Formulación lodo base aceite 70/30 sintético-emulsión inversa con Soda Cáustica	54
Tabla 15. Costos totales de la formulación de los tres fluidos de perforación.	56
Tabla 16. Costo del aceite esencial de naranja y el aceite vegetal de aguacate.	57
Tabla 17. Propiedades lodo base aceite mineral relación 70/30.	59
Tabla 18. Propiedades del lodo base aceite mineral relación 100%.	60
Tabla 19. Resultados de prueba de alcalinidad lodo base aceite mineral 70/30	69
Tabla 20. Resultados de prueba de alcalinidad lodo base aceite mineral 100%	69
Tabla 21. Resultados de prueba de salinidad de lodo base aceite mineral relación 70/30	72
Tabla 22. Propiedades del fluido de perforación base aceite sintético-emulsión inversa con relación 70/30 de Aguacate	73
Tabla 23. Resultados de prueba de alcalinidad lodo base aceite sintético-emulsión inversa de aguacate 70/30	81
Tabla 24. Resultados de prueba de salinidad lodo base aceite sintético emulsión inversa de aguacate relación 70/30	82

## RESUMEN

Los fluidos de perforación base aceite presentan numerosas ventajas en el control de propiedades en las operaciones de perforación, generalmente la fase continúa utilizada en estos sistemas es el diésel o los aceites minerales, los cuales presentan un alto impacto ambiental, debido a que estos contienen un 22% de compuestos aromáticos [1]. Por esta razón, este proyecto de investigación tiene como objetivo principal evaluar el desempeño de dos ácidos grasos obtenidos a partir del aceite esencial de naranja y el aceite vegetal de aguacate en la formulación de un fluido de perforación base aceite sintético-emulsión inversa a nivel laboratorio, siendo esta una alternativa con menor impacto ambiental y un aporte para el desarrollo de nuevas tecnologías en fluidos de perforación, sin llegar a afectar la funcionalidad de estos con respecto a los fluidos de perforación convencionales.

El trabajo de investigación inicia mediante el proceso de extracción de dos ácidos grasos a partir del aceite esencial de naranja y el aceite vegetal de aguacate, los cuales son obtenidos con materias primas reutilizables, como lo es la cascara de naranja y los desechos oxidados del aguacate. El método de extracción que se lleva a cabo es la hidrólisis ácida, donde se obtiene como producto final los ácidos grasos anteriormente mencionados, los cuales son utilizados como fase continua en la formulación de dos nuevos fluidos base aceite sintético-emulsión inversa, que posteriormente fueron caracterizados y comparados con un fluido base aceite convencional, por medio de las pruebas físicas y químicas como lo son densidad, viscosidad plástica, punto cedente, geles, filtro prensa, estabilidad eléctrica,  $P_{OM}$  y contenido de sales, siguiendo la norma API 13B-2.

Los dos tipos de ácidos grasos extraídos por medio de la hidrólisis ácida presentaron un porcentaje de rendimiento del 5% para el ácido graso N y 60% para el ácido graso A, con base a estos resultados y el análisis de costos presentado, se toma la decisión de realizar solo un lodo sintético de aguacate con sus respectivas replicas para realizar la respectiva comparación planteada en la metodología.

A partir de los resultados obtenidos en el control de propiedades de los fluidos base aceite sintético - emulsión inversa utilizando como fase continua los ácidos grasos de aguacate se realiza una comparación, en cuanto a desempeño y funcionalidad por medio

de una evaluación de propiedades, con respecto a los fluidos de perforación base aceite convencional.

Dentro de las réplicas establecidas para el lodo de aguacate, la formulación número tres del fluido de perforación base aceite sintético – emulsión inversa presento un mejor desempeño en el control de propiedades, estando el lodo fresco, lo que lo hace una opción más amigable para el medio ambiente en la industria petrolera, sin embargo, propiedades fundamentales como la estabilidad eléctrica y el filtrado HT/HP no se realizaron debido al estado presentado del lodo después de 15 días. La razón principal del estado no aceptable del lodo de aguacate es la falta de seguimiento y control de calidad en propiedades como pH, puesto que se mantuvo el lodo almacenado en los laboratorios de la Fundación Universidad de América durante la coyuntura presentada en los meses de marzo y abril, a espera de reactivación de laboratorios de Baker Hughes para las pruebas designadas en el control de propiedades.

**Palabras Clave:** Fluido Perforación, Emulsión Inversa, Biodegradable, Lodo Sintético, Ácidos Grasos, Aceite Vegetal, Fase Continua.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación se enfocó en evaluar el desempeño de dos ácidos grasos obtenidos por medio de la técnica de hidrólisis ácida para la formulación de un fluido base aceite sintético-emulsión inversa por medio del uso de aceite esencial de naranja y aceite vegetal de aguacate, donde se llevó a cabo la comparación en cuanto a desempeño de los tres fluidos de perforación planteados a través de pruebas físicas y químicas.

Dentro del marco de investigación de los fluidos de perforación sintéticos su enfoque principal está relacionado con las operaciones costa afuera (off-shore), la cual presenta desafíos más significativos en el marco colombiano, esto con el fin de aumentar las reservas de hidrocarburos y garantizar la autosuficiencia energética del país. Por consiguiente, en cuanto al tema de perforación de pozos en el Caribe colombiano se considera una posibilidad para el desarrollo de nuevas tecnologías en los fluidos utilizados para estas operaciones, dando un enfoque al tratamiento y la disposición de los residuos generados (cortes y lodos) base aceite. [2]

Los estudios y tratamientos a los cuales se deben someter los cortes y lodos de acuerdo a su naturaleza da una oportunidad a ampliar las investigaciones para un mejor manejo ambiental debido a que los fluidos base aceite convencionales enfrentan mayores desafíos ambientales, a causa de la existencia de entidades reguladoras como el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible bajo la resolución número 631 del Artículo 11 del 18 de abril del 2015, la cual establece los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas para el sector de actividades productivas de hidrocarburos [3].

Al ver la necesidad de integrar un nuevo fluido con un menor impacto ambiental que se adapte a la legislación local vigente y sea un aporte para el desarrollo de nuevas tecnologías, se establecen los fluidos de perforación sintéticos como una nueva alternativa. Puesto que, en Colombia se registra una producción de alrededor de 11.6 millones de residuos orgánicos, donde solo el 17% es direccionado al aprovechamiento de estos, y el 83% restante es llevado a rellenos sanitarios [4].

El aprovechamiento de los residuos orgánicos en la formulación de fluidos de perforación base aceite sintético-emulsión inversa implica una reducción en el impacto ambiental debido a la utilización de los desechos oxidados del aguacate y de la cascara de naranja, los cuales se encuentra dentro del 81% de residuos orgánicos domésticos [5].

Con el fin de presentar la importancia que tiene el utilizar un lodo sintético biodegradable en las diferentes operaciones de perforación, donde se requiere de lodos de alto rendimiento, que puedan dar estabilidad al pozo y lleguen a inhibir las arcillas entre otras problemáticas, [6] las buenas prácticas de perforación aplicadas a los sistemas de fluido en lodos base aceite aumentan los costos operativos en su disposición final; por esto es de vital importancia encontrar una alternativa ambiental viable que pueda llegar a suplir las necesidades de los lodos de perforación convencionales.

El lodo, comúnmente llamado así, se debe regir por tres factores, el factor de desempeño, factor económico y factor ambiental, de tal manera que una investigación robusta debe abarcar diferentes temáticas que se plantearon en el proyecto de investigación, por esta razón, se hace necesario el estudio de diferentes artículos científicos, secciones de libros, tesis, y ponencias que puedan aportar a un elevado nivel investigativo para la evaluación de fluidos de perforación sintéticos utilizando ácidos grasos provenientes de un aceite esencial y un aceite vegetal, dentro de los cuales se resaltan tres que se toman como base los resultados encontrados en cada investigación para la realización del proyecto de investigación, de tal manera que son referencia base para el desarrollo de la metodología planteada.

Dentro del análisis de los ácidos grasos el paper **Obtención de ácidos grasos a partir de aceite de coco, soya y canola mediante hidrólisis ácida** [7], del Instituto Politécnico Nacional, México en el año 2015, se planteó la metodología de obtención de ácidos grasos por medio de una reacción de hidrólisis ácida, se tomaron puntos de referencia como los aceites vegetales de coco, soya y canola, se eligió el hidrólisis ácida debido a que es un método más económico, eficiente y fácil de realizar. La metodología observada en el documento es de gran ayuda para el desarrollo experimental debido a que presenta rangos de parámetros como lo es la temperatura que se utiliza superior a

200 °C, con el fin de aumentar la solubilidad del agua en los aceites y ácidos grasos haciendo que la hidrólisis progrese rápidamente aun en ausencia de catalizadores; La reacción química presente se puede llevar a cabo con ácido sulfúrico y vapor con un emulgente que asegure el contacto de las dos fases.

Para la formulación del fluido de perforación base aceite convencional se tomó como referencia el paper **Formulación de un Fluido de Perforación Base Diésel de Bajo Impacto Ambiental** [1], presentado al boletín de geología de la Universidad Industrial de Santander en 2015, donde se hace una comparación entre dos fluidos de perforación patrón (gasoil y aceite mineral Vassa LP-90) y dos nuevas formulaciones de fluidos de perforación utilizando muestras obtenidas de una anterior destilación de gasoil para la disminución el contenido de aromáticos, en donde se expone los rangos de valores para las propiedades que debe tener el fluido patrón de acuerdo a la empresa Samán Tecnología Integral de Petróleo. La comparación se realiza por medio de pruebas físicas como viscosidad plástica, obteniendo para el aceite mineral Vassa 17 cP antes del envejecimiento dinámico y después con 18 cP, luego realizan el análisis del punto cedente, obteniendo como resultado 6 lb/100 pie<sup>2</sup> y 8 lb/100 pie<sup>2</sup> respectivamente, otra de las propiedades evaluadas es el volumen de filtrado antes y después del envejecimiento, donde se obtuvo como resultado para el aceite mineral Vassa 6,4 mL/30 min y 6 mL/30 min. Finalmente obtienen una formulación de fluido de perforación utilizando muestras destiladas de gasoil nueva, teniendo como base a la comparación de resultados de los fluidos patrón en cuanto a propiedades de viscosidad plástica, punto cedente y filtrado APAT.

Para la formulación de los fluidos de perforación base aceite sintético-emulsión inversa se tomó como referencia el paper **Emulsifier Developed from Waste Vegetable Oil for Application in Invert- Emulsión Oil based Mud** [8], presentado por la Sociedad de Ingenieros de Petróleos (SPE) en el año 2018, expone el uso de residuos de aceite vegetal de diferentes tipos como la elaboración de un emulsificante en la formulación de un fluido de perforación base aceite sintético-emulsión inversa, el emulsificante es obtenido por medio de procesos físicos de filtración y procesos químicos internos para la obtención de un emulsificante primario Arc-Eco-Mul menos viscoso, el cual se compara el rendimiento y desempeño con un emulsificante comercial utilizando como fase

continua el aceite de safra , por tal razón, se elabora la formulación de diferentes lodos OBM sintéticos emulsión inversa con concentración de 12 mL de cada emulsificante, como cantidad parametrizada para los dos tipos de lodo, los cuales son probados mediante ensayos físicos en fase de lodo fresco y rolado, en esta primera parte se muestran muy buenas propiedades reológicas y un mejor control de pérdida de fluido, pasando 5.6 mL del emulsificante comercial a 3.4 mL del emulsificante Arc-Eco-Mul, demostrando de esta manera una emulsión estable. Adicionalmente, se encuentran resultados y conclusiones de las pruebas realizadas a nivel laboratorio para la segunda etapa, donde se pretende encontrar la concentración que presente más estabilidad y mantenga propiedades del lodo, las concentraciones evaluadas son 0mL, 4 mL, 6 mL y 12 mL. Finalmente determinan que las concentraciones de 0 mL y 4 mL de emulsificante Arc-Eco-Mul no son adecuadas debido a que la emulsión no es estable.

Para la formulación de los fluidos de perforación, se toma el paper **50/50 Oil-Water Ratio Invert Emulsion Drilling Mud Using Vegetable Oil as Continuous Phase** [9], International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering en el año 2016, Dentro del documento se formuló un lodo emulsión invertida que constaba de 350ml de relación aceite-agua 50/50 usando aceite de jarropa como fase continua y yema de huevo como emulsionante. Dentro de la prueba de estabilidad eléctrica del lodo de perforación base aceite se llevó a cabo utilizando el probador de electricidad Fann, esta prueba se realizó a temperaturas recomendadas de 48,9 °C y posteriormente a 120 °C, los resultados de esta prueba se tomaron en voltios en donde la prueba a 48,9 °C obtuvo un resultado de 353 en el lodo 50/50 y un resultado de 480 en el lodo 70/30; para la temperatura de 120 °C se obtuvieron resultado de 258 y 393 correspondientemente. Se llevaron a cabo posteriormente pruebas con el fin de comparar las propiedades geológicas, estabilidad de la emulsión y de filtrado de lodo. Dentro de los resultados obtenidos en el documento se obtuvo que el lodo 50/50 obtuvo una pérdida de fluido menor a 6 ml en comparación con 12 ml del lodo 70/30, la comparación de la estabilidad eléctrica del lodo 50/50 con el lodo 70/30 fue respectivamente mejor, la disminución de la estabilidad eléctrica se puede ver asociada a los fluidos de perforación con fase oleica. Finalmente el mayor contenido de agua en el 50/50 OWR llega a establecer menos retención de aceite en los recortes, lo que significa menos tratamientos

de los recortes antes de la eliminación, lo que también reduce el costo de eliminación y menor impacto en el medio ambiente, el uso de la yema de huevo como emulsionante se utilizó para la compatibilidad con la fase continua del aceite vegetal y la necesidad de lo utilizar aditivos tóxicos, finalmente el lodo 50/50 es factible para mejorar la estabilidad del pozo.

Mediante ensayos de laboratorio se demostrará que el uso de ácidos grasos obtenidos de aceites de tipo vegetal, como fase continua en la formulación de un lodo de perforación base sintética-emulsión inversa logrará alcanzar el desempeño presentado por los lodos base aceite, en cuanto a propiedades físicas y químicas.

El objetivo general del presente proyecto de investigación es evaluar el desempeño de dos ácidos grasos obtenidos a partir del aceite esencial de naranja y aceite vegetal de aguacate en la formulación de un fluido sintético a nivel de laboratorio; como objetivos específicos se tienen:

1. Extraer el ácido graso del aceite vegetal de naranja y de aguacate mediante el proceso de hidrólisis ácida.
2. Realizar la caracterización de un fluido base aceite convencional por medio de pruebas físicas y químicas a nivel de laboratorio.
3. Diseñar dos fluidos sintéticos a partir de los ácidos grasos obtenidos del aceite vegetal de naranja y de aguacate realizando su respectiva caracterización a nivel de laboratorio.
4. Comparar el desempeño a través de las pruebas físicas y químicas de los dos ácidos grasos respecto al aceite mineral en la formulación de un fluido base aceite emulsión inversa.

Para dar cumplimiento al alcance de la presente investigación, en el segundo capítulo se encuentra el desarrollo de la metodología, el cual comprende una exhaustiva descripción de los procedimientos realizados durante el progreso de la investigación.

Como primera fase se estableció extraer el ácido graso del aceite vegetal de naranja y de aguacate mediante el proceso de hidrólisis ácida, el cual está contemplado en la sección 2.1.1, los resultados de la anterior fase se encuentran reflejados en la sección 3.1 del capítulo evaluación de las características y propiedades del fluido de perforación.

A continuación, se desarrolla la fase II y fase III, que consiste en el diseño de fluidos de perforación base aceite convención y base aceite sintético - emulsión inversa representados en la sección 2.2.1 y 2.2.2, cada resultado de la formulación de los fluidos de perforación se encuentra en tablas referenciadas en la sección 3.2 del capítulo evaluación de las características y propiedades del fluido de perforación.

Como paso siguiente se desarrolla la fase IV, la cual abarca pruebas de laboratorio de propiedades físicas y químicas de los fluidos de perforación anteriormente diseñados y formulados, se encuentran especificadas al detalle en la sección 2.3 en el capítulo de metodología dividido de la siguiente manera, la sección 2.3.1 comprende el desarrollo experimental de las pruebas físicas y la sección 2.3.2 comprende el desarrollo experimental de las pruebas químicas. El control de propiedades físicas y químicas se encuentra depositado en la sección 3.2 y 3.3 del capítulo evaluación de las características y propiedades del fluido de perforación.

Finalmente se contempla la fase V donde se comparan los resultados obtenidos a nivel laboratorio de los tres fluidos de perforación evaluados para su posterior análisis final del desempeño de los ácidos grasos como fase continua. El análisis está representado en la sección 3.4 del capítulo evaluación de las características y propiedades del fluido de perforación.

## 1. MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se encontrará el estudio de la teoría necesaria para el cumplimiento de los objetivos presentados en el proyecto de investigación, con el fin de dar una breve introducción al tema principal. Para el desarrollo de la presente se debe tener en cuenta conceptos básicos de los lodos de perforación base aceite, así como de la materia prima que se trabajara, la cual se trataría de los ácidos grasos que serían parte principal del lodo a evaluar, de igual manera se expone el método de obtención de los ácidos grasos, el cual será llevado a cabo en instalaciones de la Fundación Universidad de América.

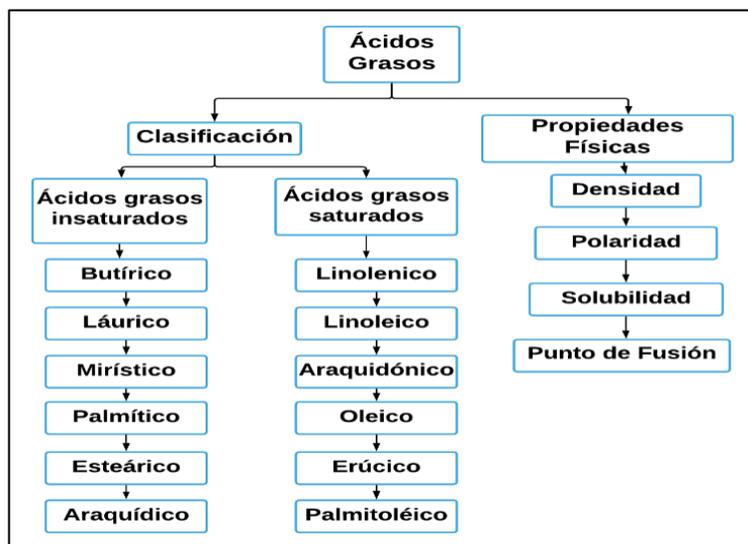
### 1.1. Ácidos grasos

Los ácidos grasos tienen como forma general R-COOH, la cadena puede cambiar de 4 hasta 30 átomos de carbono, siendo respectivamente cadenas cortas y cadenas largas, que tienen diferentes características según su clasificación [7].

En la siguiente figura se encuentra un resumen detallado de la clasificación y las propiedades físicas más relevantes de los ácidos grasos.

**Figura 1.**

*Clasificación y Propiedades Físicas*



**Nota.** Clasificación y propiedades fisicoquímicas de los ácidos grasos. Tomado de: Instituto Politécnico Nacional, "Obtención de ácidos grasos a partir de aceite de coco, soya y canola mediante hidrólisis ácida", Instituto Politécnico Nacional. [En línea]. Disponible: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/20692>

### **1.1.1. Obtención de los ácidos grasos**

Los ácidos grasos se consiguen mediante la segmentación de los triglicéridos en grasas y aceites. El proceso es únicamente de medio hidrolítico por lo que es necesaria la figura del agua a temperatura ambiente, el agua y los aceites son insolubles entre sí, por lo que la hidrólisis progresa circunstancialmente; por otro lado, existen agentes catalíticos que aceleran la rapidez de la reacción.

Debido a la utilización de temperaturas superiores a 200 °C la solubilidad del agua en los aceites y ácidos grasos aumenta hasta tal punto que la hidrólisis ácida progresa velozmente, aun con ausencia de catalizadores.

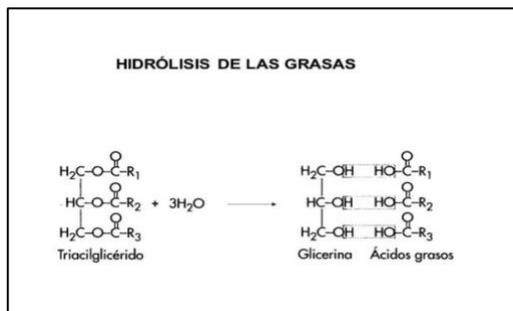
En consecuencia, a esta ventaja se construyen plantas desdobladoras continuas, operando contracorriente. El acumulado de ácidos grasos obtenidos por desdoblamiento en las distintas materias grasas se somete a una segmentación mediante destilación, cristalización o extracción por solventes.

La reacción general de desdoblamiento de grasas es la hidrólisis y el producto de la reacción es una capa acuosa que lleva en disolución la glicerina y la otra capa aceitosa que contiene los ácidos grasos. El conflicto de la reacción es la inmiscibilidad del agua y la grasa a desdoblar, por esta razón la agitación, la temperatura, la presión y la presencia de catalizadores provoca que el agua se moje al aceite. [7]

En la figura 2 se muestra el resultado del desdoblamiento de los ácidos grasos desde un triacilglicérido a la obtención de la glicerina y el ácido graso resultante.

**Figura 2.**

*Hidrólisis de Grasas y Aceites*



**Nota.** Reacciones químicas que se llevan a cabo de la hidrólisis de grasas y aceite. Tomado de: Instituto Politécnico Nacional, "Obtención de ácidos grasos a partir de aceite de coco, soya y canola mediante hidrólisis ácida", Instituto Politécnico Nacional. [En línea]. Disponible: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/20692>

1.1.1.a. Aceite esencial de naranja. La técnica empleada para la extracción del aceite esencial de naranja será la que dependerá de la calidad y cantidad del aceite esencial final. La siguiente tabla estipula los componentes y los porcentajes del aceite esencial de naranja. La elección de la técnica de extracción debe garantizar la calidad y proporción de estos componentes.

**Tabla 1.**

*Composición Química del Aceite Esencial de Cascara de Naranja.*

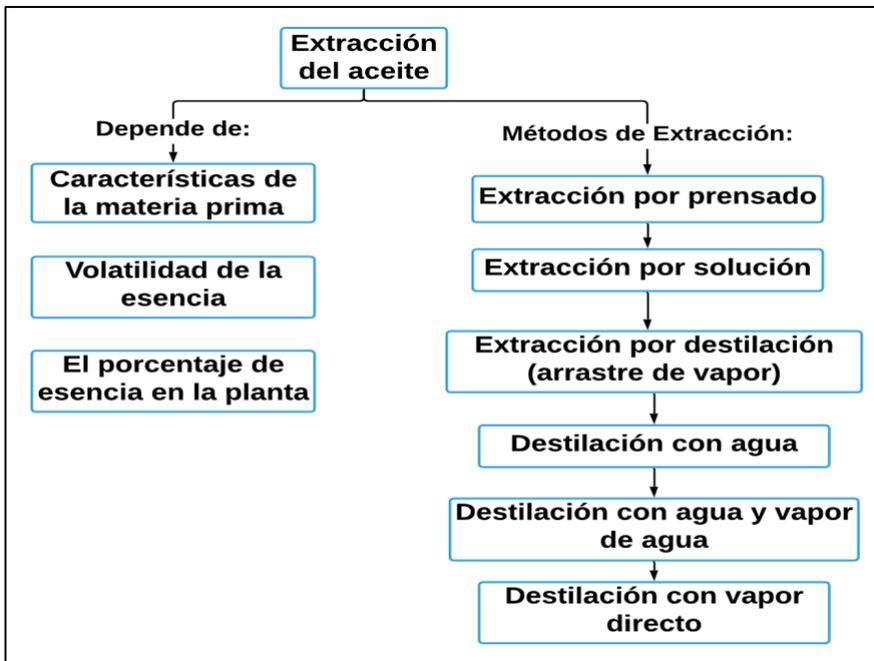
Componentes	%
Fenoles	0,09
Ácidos	0,05
Terpenos	92,00
Sesquiterpenos	0,03
Aldehídos	0,78
Alcoholes	0,37
Esteres	2,10

**Nota.** Porcentajes de la composición química. Tomado de: Extracción de aceite esencial a partir de cáscara de naranja Valencia (Citrus síntesis) por dos métodos: Arrastre de vapor y solvente orgánico. Perú. Consultado 2000. con base UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA. En línea]. Disponible: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/185>

Usualmente la técnica empleada es la destilación por corriente de vapor, pero la elección del método depende de los ítems encontrados en la siguiente figura, de igual manera se encuentra considerados los principales métodos que se emplean en la actualidad para su obtención. [10]

**Figura 3.**

*Características y Métodos de la Extracción del aceite*



**Nota. Metodos de extracción del aceite y sus características. Tomado de:** G. Pérez P. "Extracción de aceite esencial a partir de cáscara de naranja Valencia (Citrus sinensis) por dos métodos: Arrastre de vapor y solvente orgánico", tesis pre., Facultad de Industrias Alimentaria, Departamento Académico de Ciencia, Tecnología e Ingeniería de Alimentos, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú, 2000. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/185>

Los residuos de naranja se producen en grandes cantidades a nivel mundial por lo que si sus desechos no son manejados adecuadamente pueden generar contaminación en el agua, suelo y aire, afectando los recursos naturales.

Dentro de las diversas alternativas presentadas para el tratamiento de la cascara de naranja como materia prima se destaca la conversión a biogás, debido a que en la provincia de Manzanaran en Irán se producen aproximadamente 1.265.975,95 Ton de cítricos, los cuales generan 682.987,97 Ton de desechos. Los resultados mostraron que los desechos producidos a partir de cítricos tienen un gran potencial para la producción

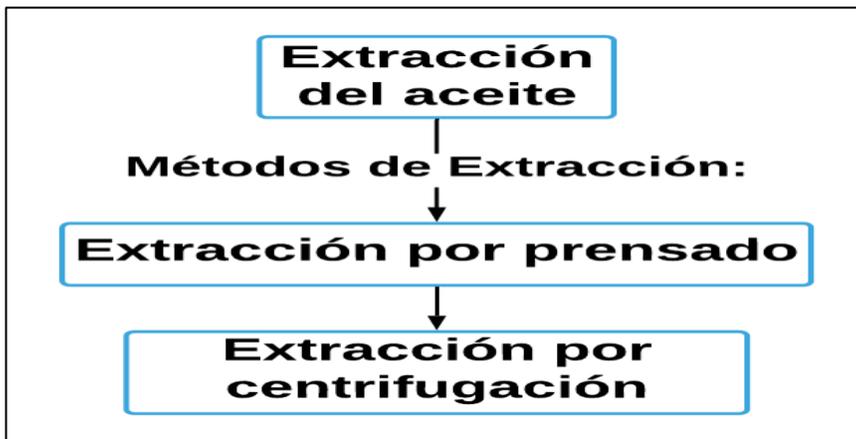
de biocombustibles en Irán. El etanol y el biogás producidos a partir del orujo de naranja se estiman en 26,98 millones de litros y 37,08 millones de m<sup>3</sup>. [12].

1.1.1.b. Aceite vegetal de aguacate. El aguacate es en la actualidad consumido generalmente como alimento fresco, sin embargo, el negocio alimenticio, cosmético, farmacéutico e industrial ha aprovechado su aceite para tratamientos, fines médicos y fines industriales.

El proceso de extracción del aceite vegetal de aguacate abarca dos metodologías físicas, se observan en la siguiente figura.

**Figura 4.**

*Métodos de Extracción*



**Nota.** Métodos de extracción de aceite. Tomado de: G. Pérez P. "Extracción de aceite esencial a partir de cáscara de naranja Valencia (Citrus sinensis) por dos métodos: Arrastre de vapor y solvente orgánico", tesis pre., Facultad de Industrias Alimentaria, Departamento Académico de Ciencia, Tecnología e Ingeniería de Alimentos, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú, 2000. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/185>

El aceite vegetal de aguacate es una fuente prometedora de emulsionantes ya que tienen diferentes tipos de ácidos grasos en forma de triglicéridos. Por otro lado, los aceites vegetales que podrían utilizarse como fuente sostenible para el desarrollo de posibles productos para aplicaciones en campos petrolíferos como los lubricantes y fuente de ácidos grasos como fase continua de algunos fluidos aplicados a la industria. [8]

La siguiente tabla representa la composición de ácidos grasos para diferentes aceites vegetales.

**Tabla 2.**

*Composición de Ácidos Grasos para Diferentes Aceites Vegetales*

Composición de ácidos grasos para diferentes aceites vegetales			
Aceite	Saturados (g)	Monoinsaturados (g)	Polinsaturados (g)
Girasol	10	21	64
Maíz	13	25	58
Oliva	14	72	9
Aguacate	10	78	10
Cacao	59	32	3
Coco	86	6	2
Palma	49	37	6

**Nota.** Diferentes composiciones de aceites vegetales. Tomado de: Asociación Agrícola de Productores de Aguacate de Uruapan Michoacán. “Actualización sobre la Industria del Aguacate en Michoacán” Michoacán, México, 2005. [PDF]. Disponible. [http://www.avocadosource.com/CAS\\_Yearbooks/CAS\\_87\\_2004-2005/CAS\\_2004-05\\_V87\\_PG\\_045-054.pdf](http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_87_2004-2005/CAS_2004-05_V87_PG_045-054.pdf). Acceso: 26,marzo,2021

### 1.1.2. Hidrólisis Ácida

La hidrólisis ácida puede llevarse a cabo con ácido sulfúrico diluido y vapor, con un emulgente que asegura el contacto de las dos fases (grasa y acuosa sólida); los ácidos grasos resultantes flotan como una capa aceitosa, quedando la glicerina en la capa acuosa. Por decantación se separan los ácidos grasos insolubles en agua de la glicerina.

Otra alternativa es realizar una hidrólisis a presiones superiores a 50 atmósferas utilizando (ZnO) como catalizador.

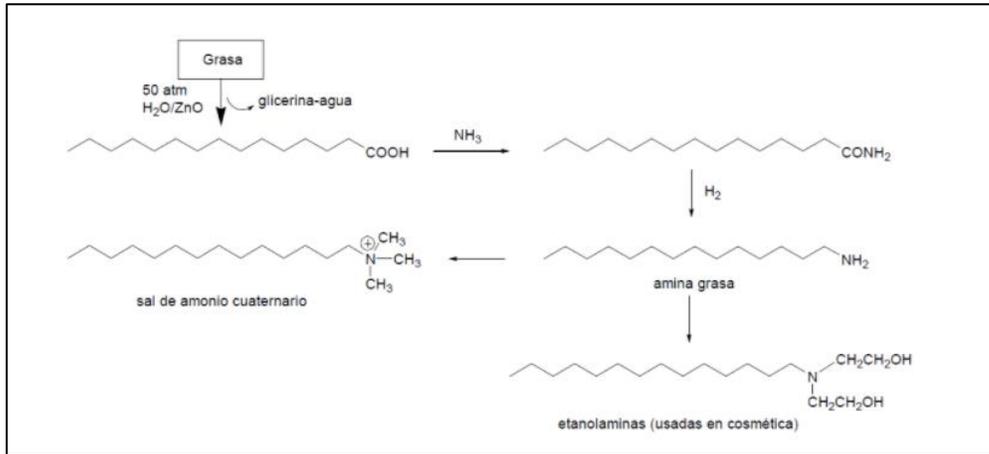
En estas condiciones no se requiere medio básico ni ácido, los ácidos grasos, así obtenidos se separan en distintas fracciones, por destilación a vacío.

La glicerina se recupera por evaporación del agua y destilación a vacío. La hidrólisis ácida tiene una ventaja sobre la hidrólisis alcalina debido a que los ácidos libres precipitan directamente sin la presencia de catalizadores. [7]

El proceso de desdoblamiento de las grasas se observa en la siguiente figura.

### Figura 5.

#### *Hidrólisis Ácida de Grasas y Aceites.*



**Nota.** Descomposición química del aceite por medio de la hidrólisis ácida. Tomado de: Instituto Politécnico Nacional, "Obtención de ácidos grasos a partir de aceite de coco, soya y canola mediante hidrólisis ácida", Instituto Politécnico Nacional. [En línea]. Disponible: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/20692>

## 1.2. Fluidos de perforación

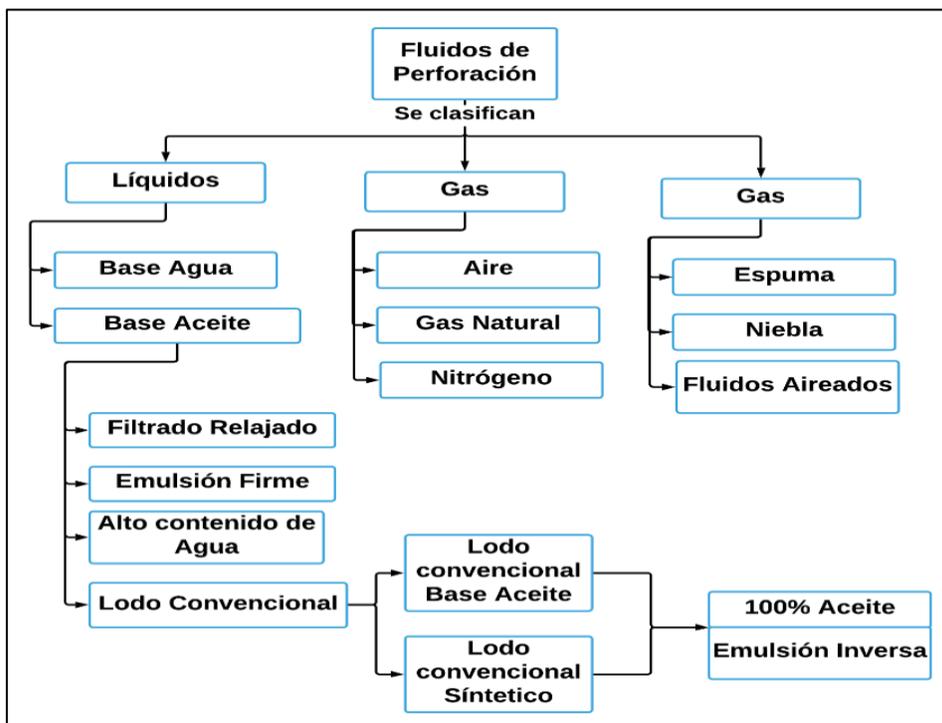
Un fluido de perforación se denomina como una mezcla de compuestos químicos naturales y sintéticos, estos se componen de una fase continua (agua, aceite o gas), una parte coloidal (arcilla, polímeros, etc.), otra parte inerte (materiales densificantes) y también cuenta con una fase dispersa que en general se compone de sólidos, encargados de brindar las propiedades de viscosidad, reología densidad y control de filtrado. Estos fluidos deben tener las características químicas y físicas adecuadas para lograr mantener sus propiedades dentro de la operación, esto con el fin de ser el fluido adecuado para lograr acceder a los depósitos de hidrocarburos. [13]

### 1.2.1. Clasificación principal de los fluidos de perforación

De acuerdo con las condiciones operaciones, ambientales y económicas se debe seleccionar un fluido de perforación acorde con las necesidades, estos pueden tener como fase continua líquidos, gases o una mezcla entre ambos.

**Figura 6.**

*Clasificación Principal de los Fluidos de Perforación.*



**Nota.** Diagrama de clasificación general de los fluidos de perforación. Tomado de: API, I., "Manual de fluidos de Perforación". Dallas, Texas, Estados Unidos, 2001. [PDF]. Disponible:

[https://www.academia.edu/33533772/MANUAL\\_DE\\_FLUIDOS\\_DE\\_PERFORACION\\_API\\_pdf?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/33533772/MANUAL_DE_FLUIDOS_DE_PERFORACION_API_pdf?source=swp_share) Acceso: Marzo,22, 2021.

### 1.3. Fluido de perforación base aceite

Los OBM suelen utilizar una mezcla de diésel y asphalt o compuestos sintéticos como principal componente líquido, adicionalmente con otros materiales como arcillas, asfaltos coloidales, los cuales cumplen la función de añadir viscosidad junto con emulsiones de polímeros y otros aditivos para adición de peso. El agua también está presente dentro de la composición, pero en una cantidad no superior al 50% en volumen. Si hay un 5% de agua presente, el lodo suele denominarse emulsión inversa, es decir una emulsión de agua en aceite.

Debido al carácter de su fase continua, los OBM proporcionan unos atributos inigualables con respecto a la velocidad de penetración, la inhibición de Shale, la

estabilidad del pozo, la alta lubricidad, alta estabilidad térmica y tolerancia a la sal. Sin embargo, están sometidos a una estricta normativa medioambiental en cuanto a si vertimiento y reciclaje. [13]

### **1.3.1. Lodo convencional sintético**

Son el equivalente técnico de los OBM en la perforación de tramos intermedios, son técnicamente superiores a todos los sistemas base agua cuando se perforan shales reactivos en pozos direccionales. Con un equipo eficiente de control de sólidos, una perforación optimizada, y unas buenas prácticas de mantenimiento, el lodo sintético puede situarse en un nivel comparable al de los OBM.

Los lodos de perforación sintéticos base aceite se formulan según el mismo principio de los lodos Oil based mud; estos lodos se han desarrollado para mantener las características de rendimiento al tiempo que se reduce su impacto medioambiental.

El objetivo de estos fluidos de perforación es intercambiar la base diésel oil o aceite mineral con un fluido orgánico que tenga menor impacto ambiental. Los fluidos orgánicos utilizados son los esterres, polífonas, los alquilbencenos entre otros. Como los OBM<sub>s</sub>, los lodos sintéticos pueden tener componentes como agentes espesantes, de suspensión, emulsionantes e igualmente agentes de peso. [13]

### **1.3.2. Lodo base aceite emulsión inversa**

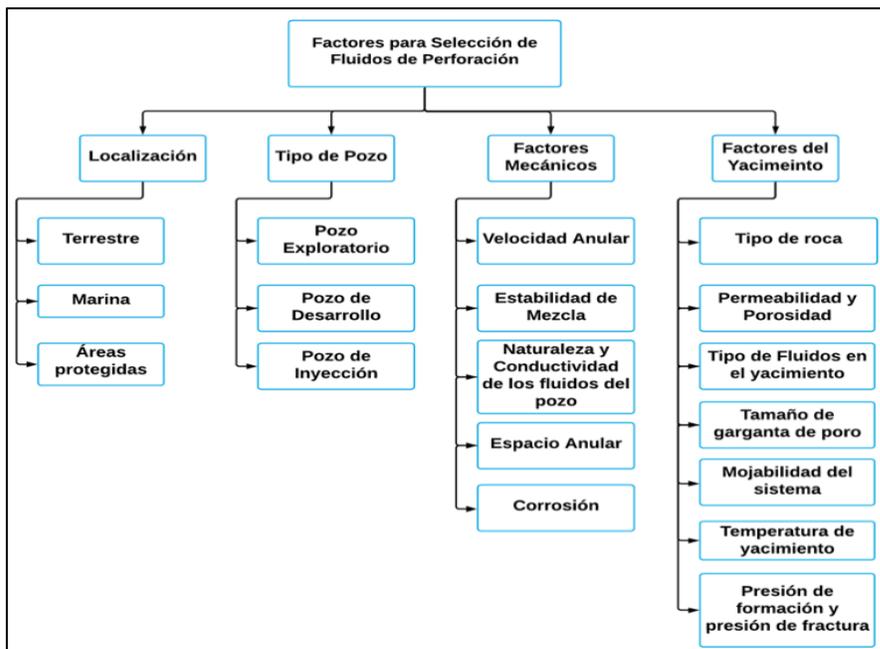
Suelen ser técnicamente estables, dentro de su formulación se encuentra el emulsificante primario, el cual debe reaccionar con cal para formar un jabón de calcio que actuara como emulsificante. El sistema permanece alcalino con el fin de tener un buen funcionamiento, dentro de sus aditivos encontramos la arcilla organofílica, que tiene como función viscosificar el fluido para suspender el material densificante y proporcionar esfuerzos de gel. Dentro de la fase interna en los fluidos emulsión inversa encontramos la salmuera de cloruro de calcio la cual tiene una relación Aceite: Agua (A/A), que tiene como fin afectar las propiedades de la formulación, estos fluidos generalmente poseen un filtrado bajo, que puede ser alterado por la presencia de asfalto o gilsonita y actuar como filtrado ultra-bajo. [14]

#### 1.4. Factores que afectan la selección de los fluidos de perforación

Para una correcta selección de uno o más fluidos de perforación en operación se debe tener en cuenta una serie de factores que afectan la aplicabilidad de los diferentes fluidos de perforación.

**Figura 7.**

*Factores que afectan la selección de los fluidos de perforación*



**Nota.** Principales factores que afectan la selección de los fluidos de perforación. Tomado de: PDVSA, C., "Manual de Fluidos de perforación". Anzoátegui, Venezuela: Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). 2002. [PDF]. Disponible: [https://www.academia.edu/20265052/Manual\\_de\\_Fluidos\\_de\\_Perforacion\\_PDVSA\\_CIED?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/20265052/Manual_de_Fluidos_de_Perforacion_PDVSA_CIED?source=swp_share) Acceso: Abril,02,2021.

## 2. METODOLOGÍA

La ejecución del presente proyecto de investigación se lleva a cabo por medio de cinco fases, las cuales se encuentran descritas en el presente capítulo de metodología, cumpliendo exitosamente con los objetivos específicos. El desarrollo del proyecto cuenta con la adquisición de resultados experimentales, su comparación y análisis.

La metodología está encaminada a evaluar el desempeño de los ácidos grasos obtenidos a partir del proceso de hidrólisis ácida del aceite esencial de naranja y el aceite vegetal de aguacate, los cuales se analizan por medio de pruebas físicas y químicas en comparación de un fluido de perforación base aceite convencional, logrando obtener un lodo sintético biodegradable que cumpla con los estándares de laboratorio de los lodos convencionales.

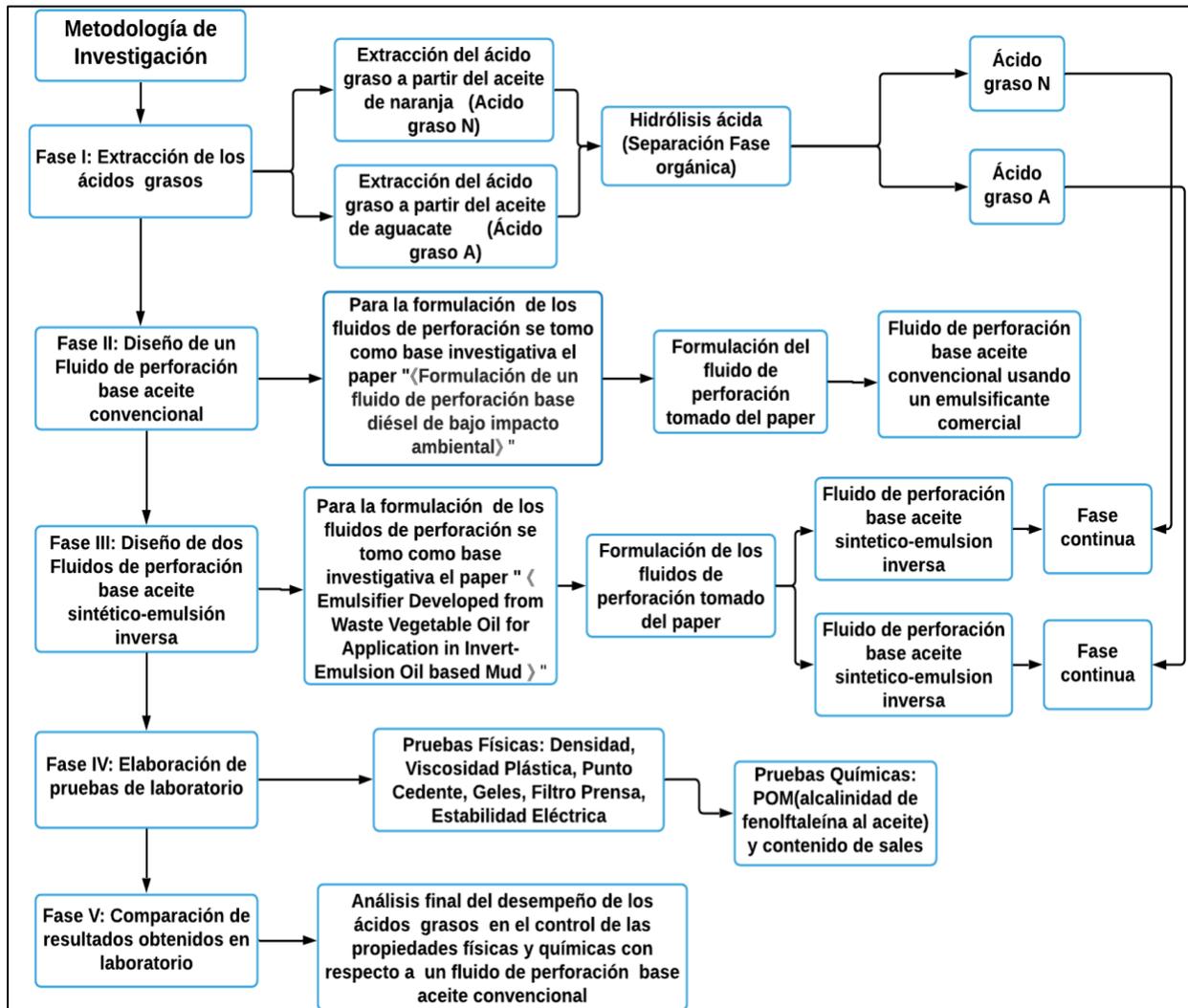
La descripción de cada fase para llevar a cabo el desarrollo experimental representa el alcance final de la investigación, por consiguiente, se considera como primera fase la extracción de los dos ácidos grasos a partir del aceite esencial de naranja y el aceite vegetal de aguacate por medio del proceso de hidrólisis ácida.

Seguido a esto, se realiza el diseño de un fluido de perforación base aceite convencional, el cual será la base comparativa frente a los otros fluidos de perforación base aceite sintético-emulsión inversa formulados, donde se utiliza como fase continua los ácidos grasos obtenidos anteriormente, cumplimiento así con el desarrollo de la fase dos y la fase tres.

A partir de los fluidos de perforación diseñados en el laboratorio se realiza la Fase IV, la cual comprende la obtención de resultados cuantitativos de pruebas físicas y químicas, con el fin de realizar un análisis posterior de los ácidos grasos para el control de las propiedades, siendo esta la Fase V.

**Figura 8.**

*Metodología de la Investigación.*



**Nota.** La figura representa la metodología establecida, donde cada fase representa el cumplimiento de los objetivos específicos.

## 2.1. Fase I: Extracción de los ácidos grasos

Dentro del desarrollo de esta primera fase se realizó la extracción del ácido graso de naranja a partir del aceite esencial, el cual se identifica a lo largo de la investigación como "Ácido graso N", y la extracción del ácido graso del aguacate a partir del aceite vegetal, establecido de igual manera como el "Ácido graso A" para el desarrollo de toda la investigación.

La metodología tomada como referencia para el proceso de extracción de los ácidos grasos se plantea en el paper "Obtención de ácidos grasos a partir de aceite de coco, soya y canola mediante hidrólisis ácida" [7]. En el cual, se obtienen los ácidos grasos mediante el proceso de hidrólisis ácida, siendo una separación de las fases acuosas y orgánicas.

La finalidad del anterior proceso es evaluar el desempeño de los ácidos grasos por medio de una sustitución de la fase continua de los fluidos de perforación base sintético-emulsión inversa.

Para la extracción de los ácidos grasos se pretende tener como cantidades de materias primas 500 ml del aceite esencial de naranja y 500 ml de aceite vegetal de aguacate, para el proceso de hidrólisis ácida, con una recolección prospectiva de por lo menos 25 ml de ácidos grasos por cada 50 ml de aceite, expuestos como resultados en el paper de referencia.

En la siguiente figura, se puede observar los frascos con el contenido de los aceites necesarios para el proceso de hidrólisis ácida.

### Figura 9.

#### *Materias primas*



**Nota.** Reactivos utilizados en la hidrólisis ácida.

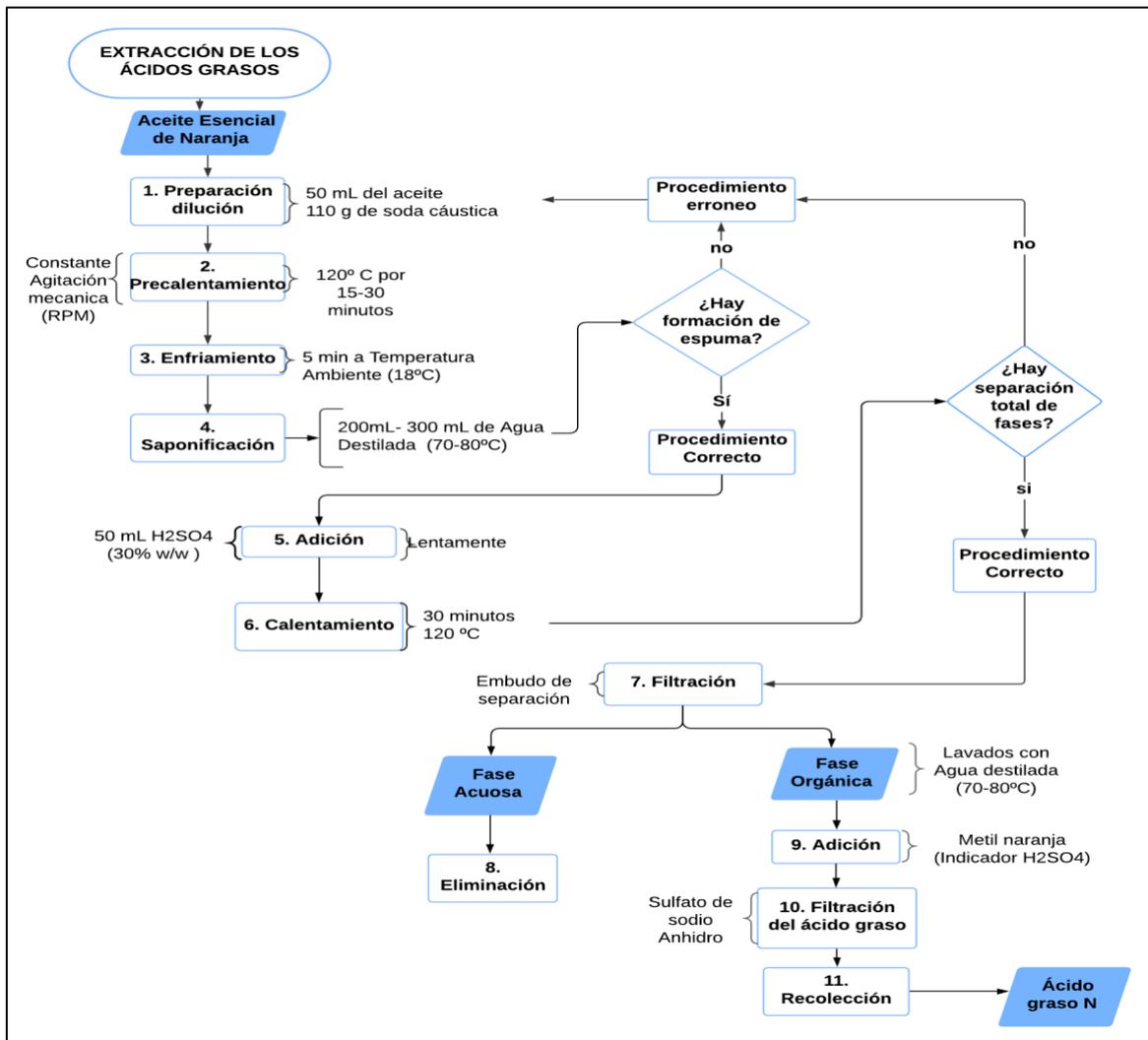
### 2.1.1. Desarrollo Experimental

El proceso de hidrólisis ácida que se lleva a cabo para la extracción de los ácidos grasos utilizando el aceite esencial de naranja y el aceite vegetal de aguacate como materias primas, comprende una serie de procesos experimentales, los cuales se encuentran especificados a continuación.

En el siguiente diagrama de flujo se puede observar el desarrollo experimental que se lleva a cabo para el primer aceite, el cual en este caso es el aceite esencial de naranja, es necesario aclarar que el mismo procedimiento se lleva a cabo para el otro aceite siguiendo a totalidad los procesos, obteniendo como resultado dos ácidos grasos

**Figura 10.**

*Diagrama de flujo de la extracción de ácidos grasos.*



**Nota.** Diagrama de flujo del desarrollo experimental del método de hidrolisis acida.

- El primer proceso consiste en la preparación de la dilución inicial de 50 mL del aceite escogido para la primera extracción y 110 g de soda caustica, los cuales son adicionados en el interior del vaso precipitado de 500 mL.

**Figura 11.**

*Ácidos grasos y soda cáustica*



**Nota.** Preparación de los reactivos para el proceso de hidrolisis ácida.

- Una vez obtenida esta solución se lleva a cabo el segundo proceso, que consiste en un precalentamiento a temperatura de 120 °C por un tiempo de 15 a 30 minutos, considerando una agitación constante de la solución.

**Figura 12.**

*Proceso de calentamiento de los ácidos grasos y soda cáustica*



**Nota.** Inicio del proceso de calentamiento de los reactivos con los aceites de Aguacate y Naranja.

- Se deja reposar por 5 minutos la solución a temperatura ambiente, para la posterior adición de agua destilada con temperatura de 70 °C a 80 °C, con el fin de iniciar la reacción química de la hidrólisis ácida, la cual se puede comprobar por medio de la manifestación de espuma, en la parte superior de la solución.

**Figura 13.**

*Adición de agua destilada y formación de jabón*



**Nota.** Proceso de formación de jabón con la adición de agua destilada

- Al observar esta reacción se puede continuar con el proceso de adición de 50 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 30%, teniendo en cuenta una adición lenta, controlada.

**Figura 14.**

*Dilución de ácido sulfúrico*



**Nota.** Preparación de la disolución de ácido sulfúrico al 30%.

- El siguiente proceso es mantener la mezcla en constante agitación y a temperatura de 120°C por un tiempo aproximado de 30 minutos, hasta lograr la separación de la fase orgánica y acuosa, que se denotan por la formación de dos capas semitransparentes, las cuales se pueden observar en la siguiente figura.

**Figura 15.**

*Separación de fases orgánica y acuosa*

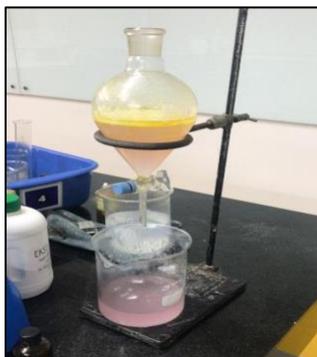


**Nota.** Proceso de separación de la fase acuosa y la fase grasa.

- Si se obtiene un procedimiento correcto en la formación de las dos fases se continua con el siguiente proceso usando un embudo de separación donde se logra eliminar la fase acuosa que contiene trazas de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

**Figura 16.**

*Adición de agua destilada y Metil-naranja.*

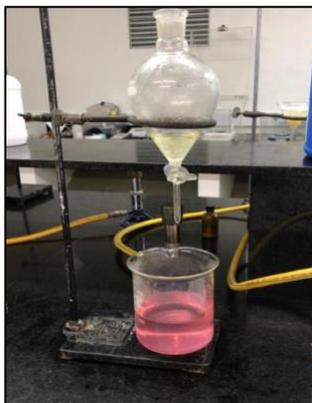


**Nota.** Presencia de ácido sulfúrico en la fase acuosa por decoloración de reactivo Metil-naranja.

- El proceso que se lleva a cabo al mismo tiempo es la adición de agua destilada caliente (70 °C a 80 °C) con el objetivo de eliminar la existencia de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) existente en la fase orgánica, por lo cual se toma como indicador pequeñas cantidades de metil-naranja.

**Figura 17.**

*Separación de los ácidos grasos*



**Nota.** Separación de los ácidos grasos en el embudo de decantación.

- Para la obtención de ácido graso se debe realizar un proceso de filtración adicional por medio del uso de un papel filtro, junto con la adición de sulfato de sodio anhidro, que tiene la función de eliminar la humedad presente del filtrado.

**Figura 18.**

*Adición de sulfato de sodio anhidro*



**Nota.** Adición de sulfato de sodio

- Como proceso final se realiza la recolección y almacenamiento indicado y sugerido según bibliografía de tal manera que se puedan conservar las propiedades del ácido

graso obtenido. El desarrollo experimental anteriormente descrito se repite con el siguiente aceite a trabajar.

**Figura 19.**

*Almacenamiento de los ácidos grasos*



**Nota.** Recolección y almacenamiento de los ácidos grasos en los envases ámbar.

Una vez finalizado cada uno de los procesos, los ácidos grasos obtenidos son rotulados con los nombres definidos al inicio del desarrollo metodológico, como “Ácido graso N y Ácido graso A”.

## **2.2. Fase II: Diseño de un fluido de perforación base aceite convencional**

Para el desarrollo de la investigación se considera la fase dos como el diseño de dos fluidos de perforación base aceite convencional (100% y 70/30), siendo estos los lodos patrones de referencia, los cuales utilizan como fase continua aceite mineral industrial, proporcionado por los laboratorios de la Fundación Universidad de América, donde la metodología es planteada tomando como referencia el paper "Formulación de un Fluido de Perforación Base Diésel de Bajo impacto Ambiental" [1].

El fluido de perforación base aceite convencional fue tomado como base comparativa para el posterior análisis final del desempeño de los ácidos grasos en el control de propiedades físicas y químicas, dentro de las cuales se encuentran la densidad, viscosidad plástica, punto cedente, geles, filtro prensa, estabilidad eléctrica,  $P_{OM}$  y contenido de sales, siguiendo la norma API 13B-2.

Para el diseño del fluido de perforación base aceite convencional se hizo necesario cambiar la formulación planteada en el paper de referencia por disponibilidad de materiales en el laboratorio, de tal manera que se utilizó una referencia distinta de aceite mineral industrial, junto con otros aditivos. De acuerdo con los cambios realizados en la formulación del lodo, los rangos de valores propuestos para perforar una fase intermedia (profundidades superiores a 4.300 ft, temperaturas menores a 250 °F y presiones cercanas a 2.250 psi) con resultados de propiedades físicas en la investigación del paper de referencia serán analizados como base comparativa con los resultados obtenidos en el control de propiedades físicas de la nueva formulación del fluido de perforación base aceite convencional.

Para el diseño del lodo base aceite convencional, se trabaja con las relaciones (O/W Ratio) de 100% aceite y 70/30, en las siguientes tablas se especifica concentraciones de reactivos y aditivos para cada formulación planteada respectivamente.

**Tabla 3.**

*Formulación Lodo Base Aceite Convencional 100% aceite*

Productos/Aditivos	Concentraciones	Unidad
O/W Ratio	100%	-
Aceite mineral ( )	350	mL
Arcilla organofílica	12	g
Cal (Ca (OH) <sub>2</sub> )	4	g
Barita	235	g
Emulsogen (Cremophor co)	1	g
Carbonato de calcio CaCO <sub>3</sub>	3	g

**Nota.** Esta tabla muestra la formulación según referenciación del Lodo Base aceite convencional O/W ratio 100%. Tomado de: J. Correia, G. Godoy, M. Garcia y R. Vega, "Formulación de un fluido de perforación base diésel de bajo impacto ambiental", *Boletín de Geología*, vol. 37, no. 2, pp.75-82, 2015. Disponible: URL.

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/4638/4834> [Acceso: enero 12, 2021].

**Tabla 4.***Formulación Lodo Base Aceite Convencional 70/30*

Productos/Aditivos	Concentraciones	Unidad
O/W Ratio	70/30	-
Salmuera	112.5	mL
Aceite mineral ()	262.5	mL
Barita	150	g
Arcilla organofílica	12	g
Cal (Ca (OH) <sub>2</sub> )	4	g
Emulsogen (Cremophor co)	12	g
Carbonato de calcio CaCO <sub>3</sub>	3	g

**Nota.** Esta tabla muestra la formulación según referenciación del Lodo Base aceite convencional O/W ratio 70/30. Tomado de: J. Correia, G. Godoy, M. Garcia y R. Vega, "Formulación de un fluido de perforación base diésel de bajo impacto ambiental", *Boletín de Geología*, vol. 37, no. 2, pp.75-82, 2015. Disponible: URL.

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/4638/4834> [Acceso: enero 12, 2021]

**Tabla 5.***Formulación de Salmuera*

Productos/Aditivos	Concentraciones	Unidad
Agua	317.45	mL
Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )	123.5	g

**Nota.** Formulación Salmuera para lodo base aceite convencional. Tomado de: API, I., "Manual de fluidos de Perforación". Dallas, Texas, Estados Unidos, 2001. [PDF]. Disponible:

[https://www.academia.edu/33533772/MANUAL\\_DE\\_FLUIDOS\\_DE\\_PERFORACION\\_API\\_pdf?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/33533772/MANUAL_DE_FLUIDOS_DE_PERFORACION_API_pdf?source=swp_share) Acceso: Marzo.22, 2021.

Para la preparación del lodo base aceite convencional se adicionaron cada uno de los productos y aditivos referenciados en la anterior tabla con un espacio de 15 minutos de mezcla entre las adiciones, hasta formar un fluido homogéneo.

El proceso que se lleva para la preparación del fluido de perforación base aceite convencional realizada en el laboratorio se relaciona en la sección de anexos.

### 2.3. Fase III: Diseño de dos fluidos de perforación base aceite sintético-emulsión inversa

La tercera etapa consistió en la ejecución del diseño de dos fluidos de perforación base aceite sintético - emulsión inversa, dentro de los cuales se utilizó como fase continua los ácidos grasos extraídos en la sección 2.1. Fase I: Extracción de los ácidos grasos. El paper "Emulsifier Developed from Waste Vegetable Oil for Application in Invert-Emulsion Oil based Mud" [8] se utilizó como base para la formulación de los fluidos base aceite sintético - emulsión inversa con una relación (70/30).

Con base a los ácidos grasos extraídos, se relaciona a continuación las concentraciones de reactivos y aditivos de la formulación propuesta para la respectiva elaboración de cada uno de los lodos a evaluar, de igual manera, se encuentra debidamente relacionado la formulación de la salmuera utilizada.

**Tabla 6.**

*Formulación de los Lodos Base Aceite Sintético-Emulsión Inversa 70/30*

Mud System			Unidad
<b>O/W Ratio</b>	70/30	70/30	-
<b>Tipo de ácido graso</b>	Ácido graso N	Ácido graso A	
<b>Concentración de ácido graso</b>	217	217	mL
<b>Salmuera</b>	Cantidad requerida	Cantidad requerida	mL
Emulsogen (cremophor co)	12	12	g
<b>Cal Hidratada</b>	6	6	g
<b>Barita</b>	161	161	g
<b>cloruro de calcio (Brine)</b>	61	61	g/mL
<b>Geltone</b>	4	4	g
<b>Duratone</b>	6	6	g

**Nota.** Esta tabla muestra la formulación según referenciación del Lodo Base aceite Sintético-Emulsión Inversa O/W ratio 70/30. Tomado de: J. Ramasamy, Md. Amanullah, M.M. Alsaihat, "Emulsifier Developed From Waste Vegetable Oil for Application in Invert-Emulsion Oil Based Mud", SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, 2018, DOI: <https://doi.org/10.2118/192230-MS> [Acesso: noviembre 24, 2020]

**Tabla 7.**

*Formulación Salmuera de Ácidos Grasos*

Productos/Aditivos	Concentraciones	Unidad
Agua	85	mL
Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> )	61	g

**Nota.** Esta tabla muestra la formulación según referenciación del Lodo Base aceite *Sintético-Emulsión Inversa* O/W ratio 70/30. Tomado de: J. Ramasamy, Md. Amanullah, M.M. Alsaihat, "Emulsifier Developed From Waste Vegetable Oil for Application in Invert-Emulsion Oil Based Mud", SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition, 2018, DOI: <https://doi.org/10.2118/192230-MS> [Acesso: noviembre 24, 2020]

Para la preparación de los fluidos de perforación base aceite sintético - emulsión inversa se adicionaron cada uno de los productos y aditivos referenciados en la anterior tabla con un espacio de 15 minutos de mezcla entre las adiciones, hasta formar un fluido homogéneo.

El proceso que lleva a cabo la preparación de los fluidos de perforación base aceite convencional y base aceite sintético – emulsión inversa realizada en el laboratorio se puede consultar en la sección de anexos del presente proyecto de investigación.

#### **2.4. Fase IV: Elaboración de pruebas a nivel de laboratorio**

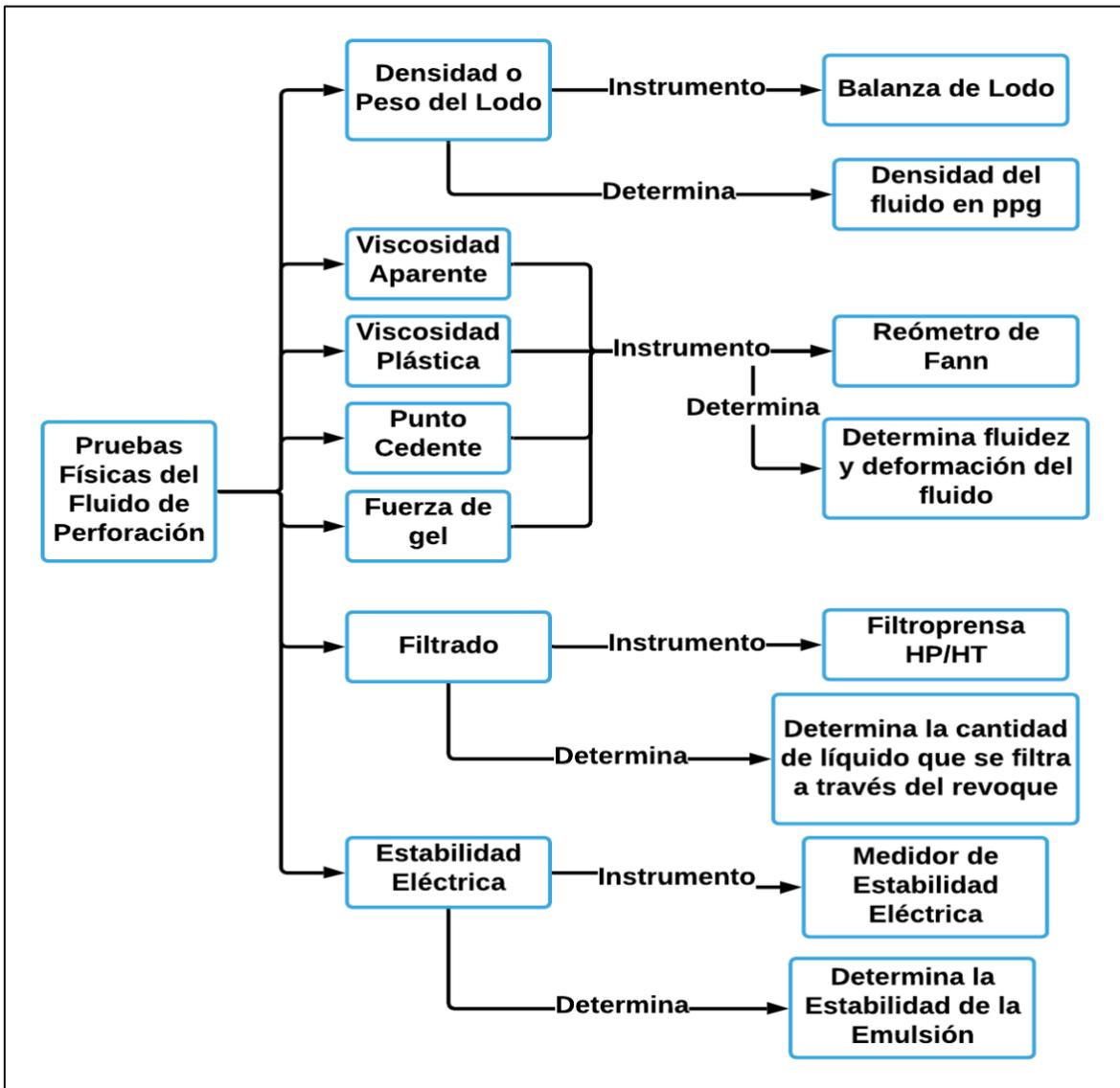
La ejecución de las pruebas físicas y químicas son llevadas a cabo siguiendo la norma API RP 13B-2 para los fluidos de perforación formulados anteriormente. Las pruebas físicas realizadas a los fluidos de perforación fueron densidad, viscosidad plástica, punto cedente, geles, filtro prensa HTHP y estabilidad eléctrica.

Las pruebas químicas establecidas fueron alcalinidad (POM) y contenido de sales. En la sección de anexos se puede encontrar el procedimiento realizado para cada una de las pruebas físicas y químicas propuestas.

En la siguiente figura se encuentra el diagrama del consolidado de las pruebas físicas a realizar en laboratorio con sus correspondientes equipos, con el fin de evaluar el desempeño de los fluidos de perforación formulados para el control de propiedades.

**Figura 20.**

*Pruebas Físicas de Los Fluidos de Perforación*

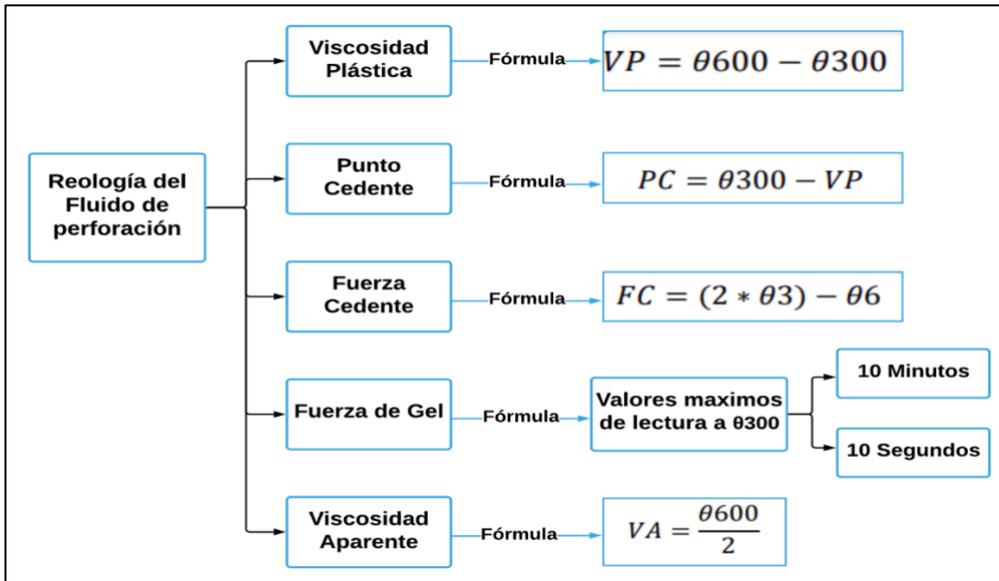


**Nota.** Esta figura muestra las Pruebas Físicas de Los Fluidos de Perforación. Tomado de: API, I., "Manual de fluidos de Perforación". Dallas, Texas, Estados Unidos, 2001. [PDF]. Disponible: [https://www.academia.edu/33533772/MANUAL\\_DE\\_FLUIDOS\\_DE\\_PERFORACION\\_API\\_pdf?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/33533772/MANUAL_DE_FLUIDOS_DE_PERFORACION_API_pdf?source=swp_share) Acceso: Marzo,22, 2021.

La siguiente figura tiene un recopilado de las ecuaciones que se emplean para la caracterización y cálculo de cada una de las propiedades físicas y químicas requeridas en un fluido de perforación base aceite.

**Figura 21.**

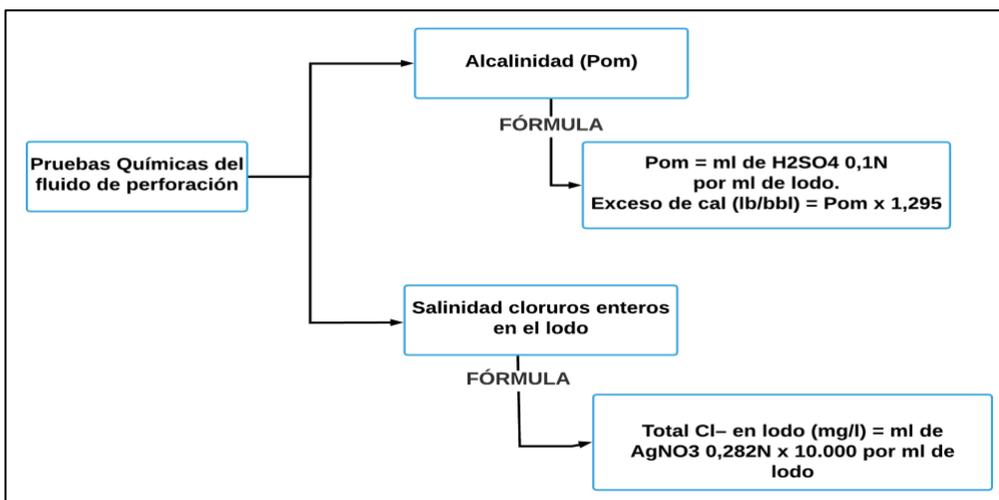
*Ecuaciones para el Cálculo de Pruebas Físicas.*



**Nota.** Esta figura muestra las Pruebas Físicas de Los Fluidos de Perforación. Tomado de: API, I., "Manual de fluidos de Perforación". Dallas, Texas, Estados Unidos, 2001. [PDF]. Disponible: [https://www.academia.edu/33533772/MANUAL\\_DE\\_FLUIDOS\\_DE\\_PERFORACION\\_API\\_pdf?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/33533772/MANUAL_DE_FLUIDOS_DE_PERFORACION_API_pdf?source=swp_share) Acceso: Marzo,22, 2021.

**Figura 22.**

*Pruebas Químicas de Los Fluidos de Perforación.*



**Nota.** Esta figura muestra las Pruebas Físicas de Los Fluidos de Perforación. Tomado de: API, I., "Manual de fluidos de Perforación". Dallas, Texas, Estados Unidos, 2001. [PDF]. Disponible: [https://www.academia.edu/33533772/MANUAL\\_DE\\_FLUIDOS\\_DE\\_PERFORACION\\_API\\_pdf?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/33533772/MANUAL_DE_FLUIDOS_DE_PERFORACION_API_pdf?source=swp_share) Acceso: Marzo,22, 2021.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se agrupa los resultados por medio de gráficos con información obtenida mediante una evaluación de los fluidos de perforación formulados anteriormente, la evaluación comprende la formulación final de los fluidos de perforación base aceite sintético-emulsión inversa, una serie de pruebas físicas a nivel de laboratorio, como lo son densidad, viscosidad plástica, punto cedente, geles, filtro prensa, estabilidad eléctrica y pruebas químicas tales como  $P_{OM}$  (alcalinidad de fenoltaleína al aceite ) y contenido de sales.

Adicionalmente, se hace un énfasis en las eficiencias obtenidas de la extracción de los ácidos grasos que son la base para la toma de decisiones, de igual manera se hace un análisis complementario de ácidos grasos libres comprobando la existencia de estos y una respectiva evaluación de costos, la cual hace una comparación en gastos de inversión.

#### **3.1. Análisis de Fase I: Extracción de los ácidos grasos**

A partir de los resultados obtenidos de la extracción de ácidos grasos por el método de hidrólisis ácida utilizando aceite esencial de Naranja y aceite vegetal de Aguacate como materia prima, se da lugar al respectivo análisis para cada extracción realizada, cuantificando así eficiencias finales que dan paso a la formulación del fluido de perforación base aceite sintético – emulsión inversa.

Con base en las formulaciones, se hace el análisis de costos a nivel de laboratorio, para el levantamiento de gastos de inversión que conlleva un barril equivalente de lodo, simultáneamente se realiza una práctica de laboratorio adicional, que comprueba la presencia de ácidos grasos en composición química en las muestras extraídas.

##### **3.1.1. Análisis de la obtención de los ácidos grasos N**

A partir del volumen extraído del ácido graso N, se hace la toma de decisiones para la formulación del fluido de perforación base aceite sintético - emulsión inversa, tomando como fase continua el ácido graso N obtenido.

Se lleva a cabo la extracción del ácido graso N, donde se utiliza 500 ml del aceite esencial de naranja, sin embargo, en el proceso de extracción de los ácidos grasos se observa que su punto de ebullición práctico es de 92 °C, estando en mezcla con el hidróxido de sodio al 30% por ende no se llega a 120°C debido a que se presenta una reacción química inestable.

Adicionalmente el volumen extraído de ácido graso N, siendo un volumen de 25 mL, no es suficiente para la elaboración del fluido de perforación planteado en la *sección 2.3 Fase III: Diseño de dos fluidos de perforación base aceite sintético - emulsión inversa.*

En la *sección 3.1.2* se encuentra el porcentaje de rendimiento o eficiencia del ácido graso N, siendo esta extracción económicamente no-viable. Finalmente se toma la decisión de no realizar la formulación del fluido base aceite sintético - emulsión inversa basado en el bajo porcentaje de rendimiento y altos costos de materia prima.

A continuación, se encuentra la siguiente figura que evidencia el bajo porcentaje de volumen extraído de ácidos grasos N en la práctica de laboratorio.

### Figura 23.

*Ácidos grasos extraídos del aceite esencial de naranja.*



**Nota.** Cantidad de ácidos grasos extraídos por medio de la hidrólisis ácida con el aceite esencial de naranja. Elaboración propia.

**3.1.1.a Formula de eficiencia de ácido graso N. Tomando como referencia la siguiente ecuación se obtiene el porcentaje de rendimiento del ácido graso N.**

**Ecuación 1.**

*Porcentaje de rendimiento Ácido Graso N.*

$$\%R = \frac{\text{Volumen Real}}{\text{Volumen Analizado}} \times 100\%$$
$$\%R = \frac{25 \text{ ml}}{500\text{ml}} \times 100\% = 5\% \text{ rendimiento acidos grasos N}$$

**Nota.** Esta ecuación representa el cálculo del *porcentaje de rendimiento Ácido Graso N.*

### **3.1.2. Análisis de la obtención de los ácidos grasos A**

A partir del volumen extraído del ácido graso A, se hace la toma de decisiones para la formulación del fluido de perforación base aceite sintético - emulsión inversa, tomando como fase continua el ácido graso A obtenido.

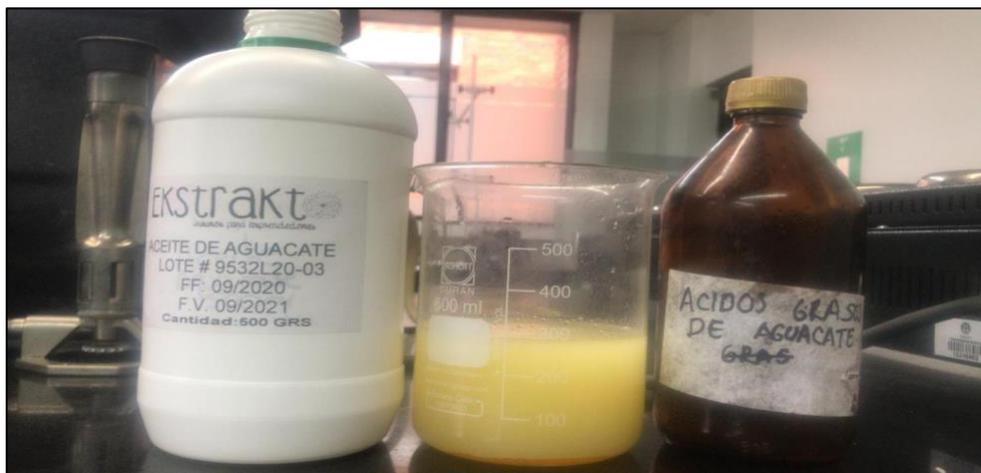
La extracción del ácido graso A se lleva a cabo utilizando 1000 mL del aceite vegetal de aguacate, donde se logra llegar a la temperatura requerida de 120°C en la etapa de precalentamiento con agitación constante, por ende, el volumen extraído de ácido graso A es suficiente para llevar a cabo la formulación planteada en la sección 2.3 *Fase III: Diseño de dos fluidos de perforación base aceite sintético - emulsión inversa.*

En la sección 3.1.4 se encuentra el porcentaje de rendimiento o eficiencia del ácido graso A, siendo esta extracción viable para lograr la elaboración de tres lodos con volumen referencia de un barril de laboratorio (350mL)

A continuación, se encuentra la siguiente figura que evidencia el alto porcentaje de volumen extraído de ácidos grasos A en la práctica de laboratorio.

## Figura 24.

*Ácidos grasos extraídos del aceite vegetal de aguacate*



**Nota.** Cantidad de ácidos grasos extraídos por medio de la hidrólisis ácida con el aceite vegetal de aguacate.

**3.1.2.a Formula de eficiencia de ácidos grasos A. Tomando como referencia la siguiente ecuación se obtiene el porcentaje de rendimiento del ácido graso A.**

### **Ecuación 2.**

*Porcentaje de rendimiento Ácido Graso A.*

$$\%R = \frac{\text{Volumen Real}}{\text{Volumen Analizado}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{300 \text{ ml}}{500 \text{ ml}} \times 100\% = 60\% \text{ rendimiento ácidos grasos A}$$

**Nota.** Esta ecuación representa el cálculo del *porcentaje de rendimiento Ácido Graso N.*

### **3.1.3. Análisis de los Ácidos Grasos Libres**

Con el fin de darle validez a la obtención de los ácidos grasos planteados mediante el método de hidrólisis ácida, se realizó un análisis químico en los laboratorios de la Fundación de la Universidad América, con el fin de lograr un análisis cualitativo y cuantitativo de la extracción de dichos ácidos.

El análisis químico trata de la determinación de ácidos grasos libres existentes en una muestra, el cual es aplicado a grasas y aceites refinados, así como aceites de origen animal y origen vegetal. El método comprende una titulación, la cual utiliza como reactivo el Hidróxido de sodio (NaOH) y como indicador la Fenolftaleína. A continuación, se relaciona la tabla, que se debe tener en cuenta para determinar el tamaño de muestra, en donde se utilizó 75 mL de alcohol isopropílico según las muestras almacenadas para dicho análisis. [16]

**Figura 25.**

*Determinación del tamaño de muestra*

<i>Rango de A.G.L.</i>	<i>Gramos de muestra</i>	<i>mL de alcohol</i>	<i>N de NaOH</i>
<i>0.2-1.0</i>	<i>28.2 +/- 0.2</i>	<i>50</i>	<i>0.1</i>
<i>1.0-30.0</i>	<i>7.05 +/- 0.05</i>	<i>75</i>	<i>0.25</i>

**Nota.** La figura representa la determinación de la muestra seleccionada para la prueba de ácidos grasos libres.

En el siguiente apartado, se encuentra la relación de ecuaciones que se utiliza para hallar el porcentaje de ácidos grasos libres según la guía de prácticas de laboratorio de Química Industrial Orgánica Experimental de la Fundación Universidad de América. [16]

**Ecuación 3.**

*Ecuaciones del análisis de los Ácidos grasos libres.*

$\% \text{ A.G.L. como oleico} = (\text{mL. NaOH} \times N \times 28.2 / \text{Peso muestra}) \times 100\%$ $\% \text{ A.G.L. como láurico} = (\text{mL. NaOH} \times N \times 20.0 / \text{Peso muestra}) \times 100\%$ $\% \text{ A.G.L. como palmítico} = (\text{mL. NaOH} \times N \times 25.6 / \text{Peso muestra}) \times 100\%$
---

**Nota.** Esta ecuación representa el cálculo del porcentaje de los ácidos grasos libres.

Los resultados obtenidos se encuentran relacionados en la siguiente tabla, donde se puede observar que arrojan porcentajes en cuanto a composición de ácido graso libre oleico, láurico y palmítico para cada una de las muestras analizadas, de manera que se puede identificar y validar la presencia de ácidos grasos en las muestras extraídas, afirmando así la validez del método de hidrolisis acida que se utiliza. La evidencia de

dicho análisis se puede encontrar en la sección de anexos del presente proyecto de investigación.

**Tabla 8.**

*Porcentajes de ácidos grasos libres*

	Ácido graso A	Ácido graso N
%A.G. L como oleico	21.93%	10.34%
%A.G. L como láurico	15.55%	7.33%
%A.G. L como palmítico	19.91%	9.39%

**Nota.** Esta tabla representa el cálculo del porcentaje de los ácidos grasos libres.

El ácido graso que se encuentra en mayor concentración fue el oleico con un porcentaje de 21.93% para el ácido graso A y 10.34% para el ácido graso N, este tipo de ácido graso tiene como aplicación industrial el uso cosmético, sin embargo, es conocido como la materia prima más difícil de emulsionar, lo que infiere directamente en la prueba de estabilidad eléctrica del fluido de perforación base aceite sintético - emulsión inversa, obteniendo valores mínimos a los esperados. [17]

### **3.2. Formulación final de la Fase II: Diseño de un fluido de perforación base aceite convencional**

El artículo "Formulación de un Fluido de Perforación Base Diésel de Bajo impacto Ambiental" [1] es tomado como base de referencia para la formulación de los lodos patrones elaborados en el laboratorio, rangos de propiedades sugeridas según la empresa colaboradora y los resultados expuestos del control de propiedades.

La siguiente tabla muestra la formulación original del paper de referencia, no obstante, se realizan cambios en los aditivos y productos, según la disponibilidad del laboratorio de la Fundación Universidad de América. En primer lugar, el aceite con referencia Vassa LP-90, es un tipo de aceite que se encuentra registrado en Venezuela por la empresa "ACEITES Y SOLVENTES VENEZOLANOS VASSA S.A.", por tal razón no es viable la utilización de esta referencia de aceite. El aceite mineral utilizado es de tipo industrial y

es puesto en venta en grandes cantidades que son proporcionados a los laboratorios de la Fundación Universidad de América.

El tipo de arcilla organofílica encontrada en laboratorios se caracteriza por tener como un aditivo activador polar, por esta razón no se utiliza un activador polar como aditivo. Adicionalmente, el carbonato de calcio cumple con la función de controlador de filtrado para la formulación del lodo patrón.

**Tabla 9.**

*Formulación del paper de referencia del fluido patrón.*

<b>Aditivos/Productos</b>	<b>Concentraciones</b>	<b>Unidad</b>
<b>Aceite Mineral (Vassa LP-90)</b>	El requerido	ml
<b>Arcilla Organofílica</b>	12	g
<b>Humectante</b>	1	g
<b>Cal hidratada</b>	4	g
<b>Emulsificante</b>	1	g
<b>Activador Polar</b>	5	g
<b>Agua</b>	7	ml
<b>Barita</b>	El requerido	g
<b>Controlador de filtrado</b>	8	g

**Nota.** Esta tabla representa la Formulación del paper de referencia del fluido patrón. Tomado de: J. Correia, G. Godoy, M. Garcia y R. Vega, "Formulación de un fluido de perforación base diésel de bajo impacto ambiental", *Boletín de Geología*, vol. 37, no. 2, pp.75-82, 2015. Disponible: URL.

<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/4638/4834> [Acceso: enero 12, 2021]

En resumen, la formulación final del fluido de perforación patrón con relación 100% y 70/30 se encuentra descrito en la Tabla 10 y la Tabla 11 respectivamente, teniendo en cuenta los cambios de productos y aditivos según la disponibilidad existente en el

laboratorio. Además, se toma el emulsificante comercial que arroja buenos resultados en el paper "Emulsifier Developed from Waste Vegetable Oil for Application in Invert-Emulsion Oil based Mud" [8], debido a que no es especificada la referencia utilizada anteriormente.

A continuación, se presentan las dos formulaciones de los fluidos de perforación base aceite mineral con sus respectivas replicas.

**Tabla 10.**

*Formulación de réplicas lodo base 100% Aceite*

	<b>Lodo 1 100% Aceite</b>	<b>Lodo 2 100% Aceite</b>	<b>Lodo 3 100% Aceite</b>
<b>Aceite mineral (ml)</b>	350	350	350
<b>Emulsificante-Emulsogen (g) (Cremophor co)</b>	1	1	1
<b>Cal hidratada (g)</b>	4	4.269	4
<b>Arcilla organofílica (g)</b>	12	12.341	12
<b>Carbonato de calcio(g)</b>	3	3	3
<b>Barita (g)</b>	150	150	150

**Nota.** Esta tabla representa la Formulación de las réplicas lodo base 100% Aceite

La siguiente formulación expuesta se realiza un cálculo adicional para encontrar la relación de cloruro de calcio y agua requerida para llegar a una densidad que oscile entre los 10 y 11 ppg, dicha relación es tomada de las tablas de salmuera encontradas en el Manual de Fluidos de Perforación [14]. Se hace el cálculo debido a que en el paper de referencia solo se maneja la formulación de un sistema 100% lodo base aceite Vassa LP-90 convencional

**Tabla 11.***Formulación de réplicas lodo base aceite 70/30.*

	<b>Lodo 1 70/30</b>	<b>Lodo 2 70/30</b>	<b>Lodo 3 70/30</b>
<b>Aceite mineral (ml)</b>	262.5	262.5	262.5
<b>Salmuera (Agua 317.45 ml CaCl2 123.5 g)</b>	112.5	112.5	112.5
<b>Emulsificante-emulsogen (g) (Cremophor co)</b>	12	12	12
<b>Cal hidratada (g)</b>	4	4	4
<b>Arcilla organofílica (g)</b>	12	12	12
<b>Carbonato de calcio(g)</b>	3	3	3
<b>Barita (g)</b>	150	150	150

**Nota.** Esta tabla representa la *Formulación de las réplicas lodo base aceite 70/30*

### **3.3. Formulación final de la Fase III: Diseño de dos fluidos de perforación base aceite sintético - emulsión inversa**

Inicialmente se planteó formular dos lodos base aceite sintético emulsión inversa utilizando los ácidos grasos extraídos en la Fase I como fase continua, no obstante, la eficiencia presentada en la sección 3.1.2 es tan baja que no soporta el costo total de la materia prima, es decir el aceite esencial de naranja.

A continuación, se muestra la formulación final del fluido base aceite sintético - emulsión inversa utilizando como fase continua los ácidos grasos A anteriormente extraídos. Según disponibilidad del laboratorio, se realizan algunos cambios en los productos y aditivos de la formulación original, siendo esta la base para la preparación del fluido de perforación.

En primer lugar, solo se tiene en cuenta un emulsificante primario (Emulsogen-Cremophor CO), el cual logra la estabilidad de la emulsión utilizando la cantidad expuesta en el paper "Emulsifier Developed from Waste Vegetable Oil for Application in Invert-Emulsion Oil based Mud" [8].

Para no realizar cambios drásticos a la formulación original se aumenta la cantidad de Cal Hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en el sistema debido a la presencia de trazas de Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) en el ácido graso A, por el método de extracción utilizado, por tal razón es necesario utilizar más cantidad de la sugerida para lograr alcalinizar el lodo. La razón principal de este aumento es la propiedad que tiene la Cal Hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) de ajustar el PH. [14]

**Tabla 12.**

*Formulación lodo base aceite 70/30 sintético-emulsión inversa.*

	<b>Lodo 1</b>	<b>Lodo 2</b>
<b>Ácidos grasos (ml)</b>	217	217
<b>Salmuera (ml)</b>	Volumen de salmuera obtenido	Volumen de salmuera obtenido
<b>Emulsificante- emulsogen (g) (cremophor co)</b>	12	12.246
<b>Geltone (g)</b>	4	4.129
<b>Cal hidratada (g)</b>	6.249	54
<b>Duratone</b>	6	6.247
<b>Barita (g)</b>	161	161.33

**Nota.** Esta tabla representa Formulación lodo base aceite 70/30 sintético-emulsión inversa.

**Tabla 13.**

*Formulación de Salmuera para replicas.*

<b>Productos/Aditivos</b>	<b>Concentraciones</b>	<b>Unidad</b>
<b>Agua</b>	85	mL
<b>Cloruro de calcio (<math>\text{CaCl}_2</math>)</b>	61	g

**Nota.** Esta tabla representa la Formulación de Salmuera para las réplicas.

Según la cantidad sobrante de ácidos grasos A extraídos, se toma la decisión de elaborar una nueva formulación utilizando menor cantidad del barril de laboratorio

planteado inicialmente, con base a los 70 mL residuales. En este caso, se utiliza la Soda Caustica como aditivo que tiene la función de ajustar el PH del sistema. [14], de tal manera que la cantidad de Cal Hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) es ajustada a la formulación original del paper de referencia.

**Tabla 14.**

*Formulación lodo base aceite 70/30 sintético-emulsión inversa con Soda Cáustica*

	<b>Lodo 3</b>
<b>Ácidos grasos (ml)</b>	70
<b>Salmuera (ml)</b>	30
<b>Emulsificante- emulsogen (g) (cremophor co)</b>	12
<b>Geltone (g)</b>	4
<b>Cal hidratada (g)</b>	6
<b>Duratone</b>	6
<b>Soda Caustica (ml)</b>	25
<b>Barita (g)</b>	54

*Nota.* Esta tabla representa la *Formulación lodo base aceite 70/30 sintético-emulsión inversa con Soda Cáustica*

### 3.4. Análisis de Costos

El presente proyecto pretende evaluar costos a nivel de laboratorio, por tal razón no se realiza un análisis financiero robusto debido al alcance que se tiene en el desarrollo, es decir, no se tiene la información necesaria para hacer una comparación de costos del levantamiento de un barril de lodo en laboratorio con respecto a un barril de lodo en campo.

#### **Ecuación 4.**

*Equivalentes de un barril de lodo.*

$$\frac{1 \text{ lb}}{1 \text{ bbl}} \times \frac{454 \text{ g}}{1 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ bbl}}{42 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ gal}}{3785 \text{ ml}} = \frac{1 \text{ g}}{350 \text{ ml}}$$

**Nota.** Esta ecuación representa los *equivalentes de un barril de lodo*

A continuación, se presenta la tabla que resume los costos de inversión para cada uno de los lodos formulados y evaluados a nivel de laboratorio, utilizando como base de formulación un barril equivalente de laboratorio

**Tabla 15.***Costos totales de la formulación de los tres fluidos de perforación.*

Productos/Aditivos	Costos		
	Lodos base aceite mineral	Lodos base ácidos grasos de aguacate	Lodos base ácidos grasos de naranja
Aceite mineral/ 1lt	\$10,200	\$0	\$0
Emulsificante- Emulsogen (Cremophor co) /250g	\$17,850	\$17,850	\$17,850
Cal hidratada / 1 kg	\$2,500	\$2,500	\$2,500
Arcilla organofílica / 250 gr	\$15,600	\$0	\$0
Carbonato de calcio/ 1 kg	\$6,000	\$6,000	\$6,000
Barita / 1kg	\$5,300	\$5,300	\$5,300
Cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> ) / 1kg	\$63,400	\$63,400	\$63,400
Aceite vegetal de aguacate /500 ml	\$0	\$83,300	\$0
Aceite esencial de naranja / 4 lt	\$0	\$0	\$618,800
Geltone /1 kg	\$0	\$15,000	\$15,000
Duratone/ 1kg	\$0	\$16,330	\$16,330
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$120,850</b>	<b>\$209,680</b>	<b>\$745,180</b>

**Nota.** Esta tabla representa los costos totales de la formulación de los tres fluidos de perforación

## Ecuación 5.

*Relación de gastos de los lodos formulados*

$\text{Gasto del lodo base ácidos grasos de aguacate} = \$120,850 - \$209,680 = -\$88,830$
$\text{Gasto del lodo base ácidos grasos de naranja} = \$120,850 - \$745,180 = -\$624,330$

**Nota.** Esta ecuación representa la relación de gastos de los lodos formulados.

## Tabla 16.

*Costo del aceite esencial de naranja y el aceite vegetal de aguacate.*

CANT	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	VR. UNITARIO	IVA	TOTAL
1	DSJ-NARA	ACEITE ESENCIAL DE NARANJA FCO X 500 ML	\$65.000	19%	\$77.350
2	DSJ-GUA	ACEITE DE AGUACATE FCO X 500 ML	\$70.000	19%	\$166600

**Nota.** Esta tabla representa el costo del aceite esencial de naranja y el aceite vegetal de aguacate.

Finalmente se obtienen las dos tablas anteriores, las cuales relacionan costos totales de la formulación de los tres fluidos de perforación, logrando así identificar el gasto total que se obtiene en comparación del lodo patrón base aceite mineral. Para el fluido de perforación base aceite sintético-emulsión inversa utilizando como fase continua ácidos grasos A, aumenta un 42.36% en cuanto a la inversión; por otro lado, para el fluido de perforación base aceite sintético-emulsión inversa utilizando como fase continua ácidos grasos N, aumenta un 83.78% en cuanto a la inversión total, por tal razón, se define como un lodo amigable al medio ambiente pero con la existente desventaja económica que representa utilizar ácidos grasos en remplazo del aceite mineral.

### **3.5. Control de propiedades de la Fase IV: Elaboración de pruebas a nivel de laboratorio**

Para el debido control de propiedades de cada uno de los lodos formulados, se hace un análisis completo de las propiedades mencionadas en la sección 2 *Metodología*, con base a los resultados expuestos en figuras, de tal manera que se establece el desempeño preliminar que tiene cada lodo.

#### ***3.5.1. Resultados de pruebas de laboratorio fluido base aceite convencional***

En las siguientes tablas se muestra la relación de resultados de las pruebas de laboratorio del fluido patrón realizadas para el control de propiedades, con el fin de hacer un análisis de cada propiedad. En primer lugar, se encuentran depositados los resultados obtenidos para el fluido de perforación 70/30 base aceite mineral con sus debidas replicas, en segundo lugar, se encuentran expuestos los resultados obtenidos para el fluido de perforación 100% base aceite mineral, finalmente se hace un análisis de cada propiedad con ayuda de gráficos de barras.

**Tabla 17.***Propiedades lodo base aceite mineral relación 70/30.*

<b>Relación 70/30 Lodo base aceite mineral</b>	<b>Lodo Base</b>	<b>Lodo Replica 1</b>	<b>Lodo Replica 2</b>
MW (ppg)	10.3	10.6	10.5
VA (cP)	32.5	33	32.5
VP (cP)	19	21	20
PC (lb/100ft <sup>2</sup> )	27	24	25
Lectura @ 600 rpm	65	66	65
Lectura @ 300 rpm	46	45	45
Lectura @ 200 rpm	32	32	31
Lectura @ 100 rpm	27	24	23
Lectura @ 6 rpm	12	10	10
Lectura @ 3 rpm	10	9	9
Gel inst (lb/100ft <sup>2</sup> )	9	9	9
Gel 10 min (lb/100ft <sup>2</sup> )	11	10	11
Filtrado HTHP (ml/30 min)	<5	<5	<5
Estabilidad Eléctrica (Vol)	73	81	83
pH	11.58	10.88	10.93
ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 N (ml)	1.3	1.8	1.5
ml AgNO <sub>3</sub> (ml)	0.4	0.6	0.5
pH	11.9	10.8	10.93

**Nota.** Esta tabla representa el resumen de resultados de las pruebas realizadas a el lodo base aceite 70/30.

**Tabla 18**

. *Propiedades del lodo base aceite mineral relación 100%.*

<b>Relación 100%</b> <b>Lodo base</b> <b>aceite mineral</b>	<b>Lodo Base</b>	<b>Lodo 1</b>	<b>Lodo 2</b>
MW (ppg)	10.5	10.7	10.3
VA (cP)	28	28	32
VP (cP)	19	17	10
PC (lb/100ft <sup>2</sup> )	18	22	24
Lectura @ 600 rpm	56	56	64
Lectura @ 300 rpm	37	39	54
Lectura @ 200 rpm	32	34	41
Lectura @ 100 rpm	24	29	34
Lectura @ 6 rpm	12	20	21
Lectura @ 3 rpm	13	14	14
Gel inst (lb/100ft <sup>2</sup> )	11	14	14
Gel 10 min (lb/100ft <sup>2</sup> )	13	14	14
Estabilidad Eléctrica (Vol)	100	78	99
pH	11.53	12.1	12.5
ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 N (ml)	0.7	0.7	1.1
pH	11.53	12.5	12.13

**Nota.** Esta tabla representa el resumen de resultados de las pruebas realizadas a el lodo base aceite 100%.

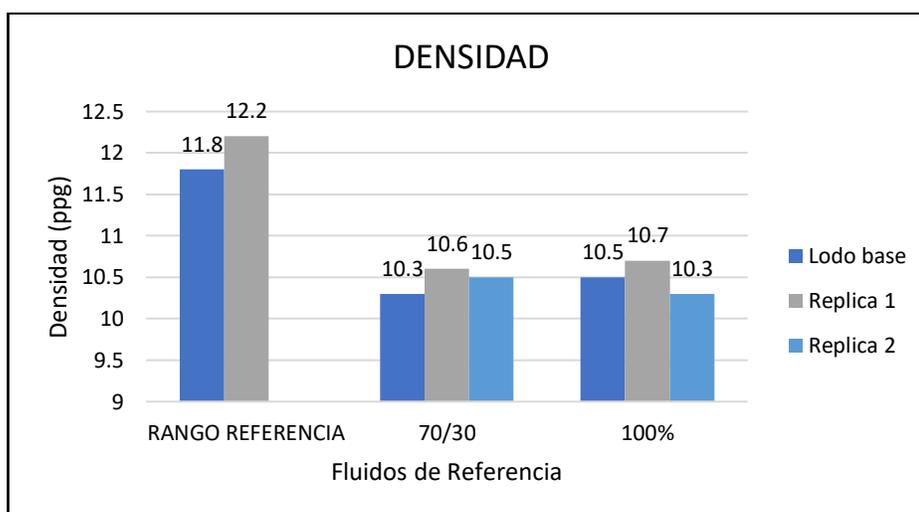
- **Densidad.** La primera propiedad por analizar es la densidad, en donde se debe tener en cuenta el cambio de la referencia del aceite VASSA LP-90 por el aceite mineral industrial manejado en los laboratorios de la universidad, así mismo, se puede evidenciar una densidad del lodo más baja debido a que se pretende respetar las cantidades expuestas en los documentos de referencia que son base para la formulación de los fluidos base aceite patrón y los fluidos base aceite sintético - emulsión inversa.

El control de la propiedad de la densidad es importante debido a que está directamente relacionado con la presión hidrostática, es decir los fluidos con alta densidad aseguran un equilibrio de presiones, sumado a esto facilitan la limpieza de pozo, con el fin de realizar la remoción o suspensión de recortes en superficie [14]. De modo que, con la información recolectada se llega a la conclusión que la densidad obtenida en laboratorio se encuentra cercana al rango base establecido por referencia bibliográfica [1].

En la siguiente figura se puede observar los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio, en contraste con los rangos establecidos en el paper de referencia. De esta manera se puede evidenciar que se realiza un proceso adecuado por la cercanía de resultado en cada una de las réplicas.

**Figura 26.**

*Comparación resultados propiedad Densidad*

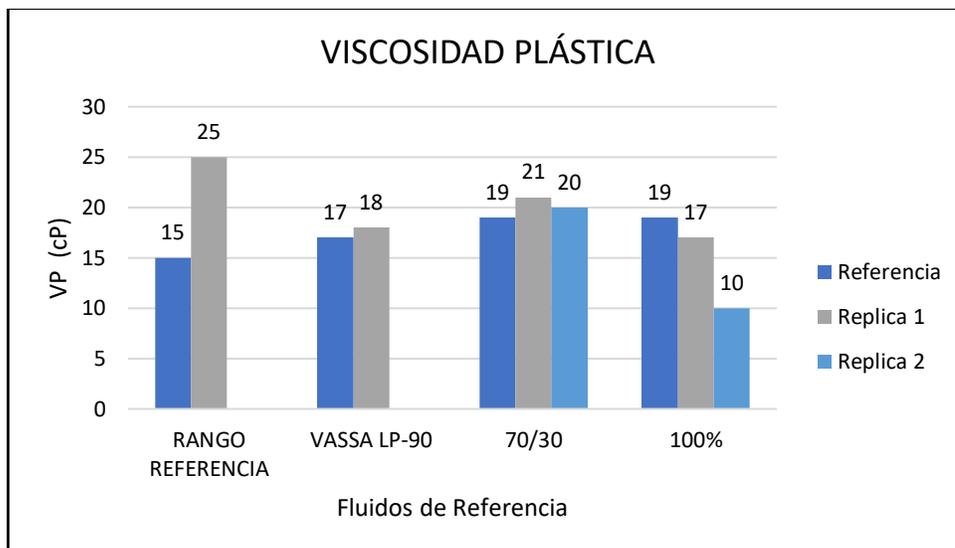


**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad Densidad para el lodo base aceite 100%

- Reología.** En cuanto a la viscosidad plástica, se puede denotar que tanto el rango referencia, los resultados expuestos del aceite VASSA LP-90 y los resultados de laboratorio para aceite mineral industrial se encuentran con valores similares, de tal manera que se presentan resultados satisfactorios, haciendo que la propiedad de viscosidad plástica se mantenga en valores mínimos, lo cual ayuda a que el lodo mejore la hidráulica de la broca y las velocidades de penetración, que influye directamente en la limpieza correcta del pozo [14].

**Figura 27**

*Comparación resultados propiedad Viscosidad Plástica*

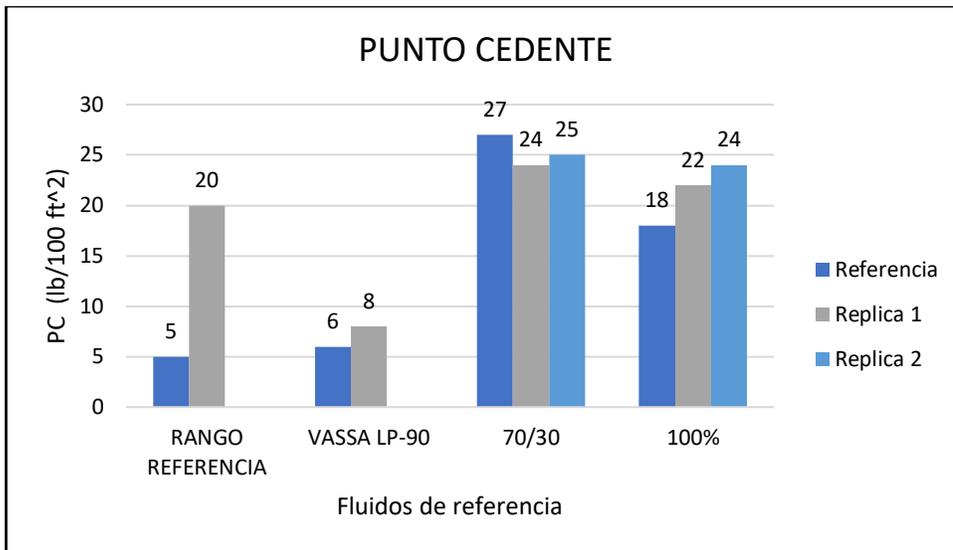


**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad *Viscosidad Plástica*

En segundo lugar, la propiedad a analizar es el punto cedente en donde se puede evidenciar que los resultados obtenidos están por encima del rango establecido, lo cual se debe a la presencia de sólidos como cal hidratada y arcilla organofílica, los cuales tienen un efecto directo en el resultado de la floculación y el posterior aumento del punto cedente. De igual manera, la diferencia de los resultados no es tan significativa y según el paper de referencia estos valores expuestos en la figura se consideran como aceptables. [1]

**Figura 28.**

*Comparación resultados propiedad Punto Cedente*



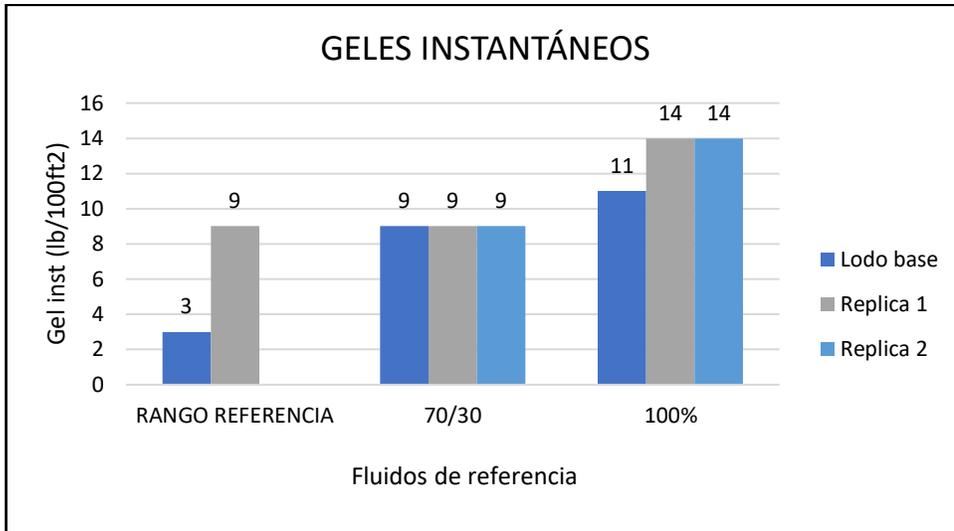
**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad *Punto Cedente*

La fuerza de geles tomada a 10 segundos y a 10 minutos es la propiedad que tiene el fluido de medir las fuerzas de atracción estáticas, y que depende de los sólidos suspendidos que se puedan presentar por la formulación inicial, por consiguiente, al observar un punto cedente alto en la formulación 100% aceite mineral, se espera encontrar en resultados una mayor tendencia en geles al rango especificado en el paper de referencia.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que para reducir el punto cedente se necesita una relación alta de W/O ratio, lo cual influye directamente en el resultado de geles, por tal razón se evidencia que para la formulación 70/30 los geles se encuentran dentro del rango esperado.

**Figura 29.**

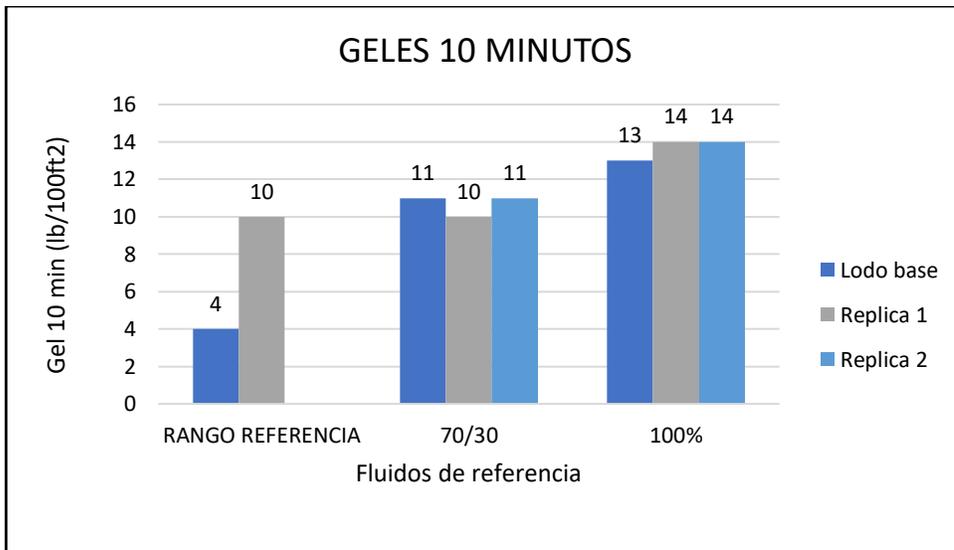
*Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles Instantáneos*



**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles Instantáneos

**Figura 30.**

*Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles 10 minutos*



**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles 10 minutos

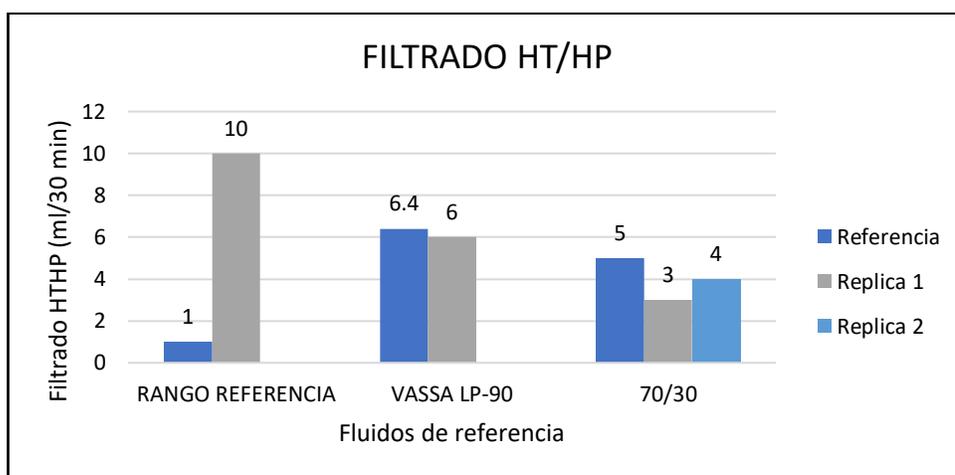
- Filtrado HT/HP.** Los resultados observados para la relación 70/30(O/W Ratio) del lodo planteado, en cuanto a las medidas de filtración Alta temperatura y Alta presión, fueron analizados en los laboratorios de Baker Hughes a condiciones estándar de 120°F y 500 psi, dicha prueba se realiza por fuera de instalaciones de los laboratorios de la Universidad de América debido a la falta de disponibilidad del instrumento necesario.

Los resultados evidenciados en la figura correspondiente muestran el rango de aceptación establecido, el cual se encuentra planteado en el paper de referencia, así como el resultado arrojado por el fluido de perforación utilizando en su fórmula aceite Vassa LP-90, en comparación a estos, el lodo evaluado de relación 70/30 aceite mineral arroja valores menores, lo que indica un mejor control de volumen de filtrado que pasa a través del revoque hacia las formaciones de rocas permeables que sucede cuando el fluido experimenta una presión diferencial, lo que influye directamente en la función principal del revoque [18].

Por otra parte, es necesario mencionar que esta prueba física no evidencia resultados cuantitativos para el fluido de perforación base aceite 100% aceite mineral, debido a que esta formulación no posee una emulsión estable y por tal razón no hay un control de filtrado evidenciable.

**Figura 31**

*Comparación resultados propiedad Filtrado HT/HP*



**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad Filtrado HT/HP

- **Estabilidad Eléctrica.** En la siguiente figura se encuentra los resultados obtenidos de la estabilidad eléctrica, propiedad la cual fue analizada en los laboratorios de Baker Hughes debido a que el instrumento a utilizar no se encuentra en disponibilidad de la Fundación Universidad América, por tal razón, se realiza por fuera de las instalaciones, en donde se obtienen resultados muy bajos debido a que la muestra se mantuvo almacenada por lo menos 15 días, debido a la coyuntura que se presentó en los meses de Marzo y Abril, que obligó a cerrar establecimientos y atrasar tiempos de laboratorio.

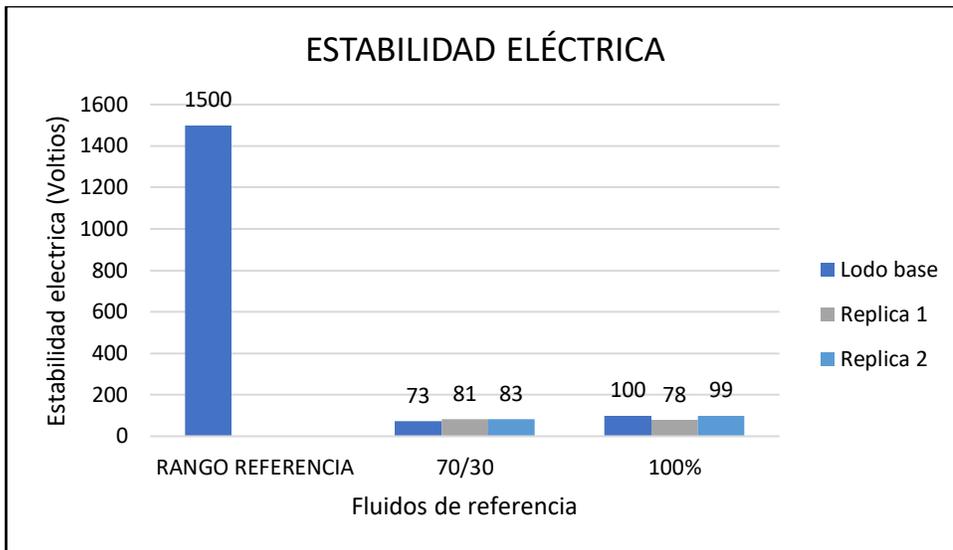
El resultado observado en las figuras arroja una disminución del 94.73% para el sistema 70/30 (O/W Ratio) y de 93.84% para el sistema 100%, porcentajes que determinan que ninguno de los dos sistemas de fluido de perforación tiene una buena estabilidad de emulsión, debido a que en fuentes bibliográficas se especifica que una buena emulsión o estabilidad eléctrica está alrededor de 800 Voltios [14], por ende, los lodos patrón fueron afectados por el almacenamiento y la falta de control de propiedades químicas como el potencial de hidrógeno (pH) durante los días de exposición, cabe recalcar que la temperatura maneja en el laboratorio fue de 120°F, la cual es verificada según revisión bibliográfica como la temperatura adecuada para la prueba de laboratorio.

De igual manera, con los resultados obtenidos de estabilidad eléctrica se puede validar que la emulsión no es estable, haciendo que la concentración del emulsificante (Cremophor CO) no sea la suficiente para la formulación planteada, teniendo en cuenta que se replicó la formulación del paper de referencia con los productos y aditivos disponibles en los laboratorios de la Fundación Universidad de América.

En la sección de anexos se encuentra los resultados enviados por el técnico de laboratorios de Baker Hughes donde se plasman los resultados expuestos en las figuras.

**Figura 32.**

*Comparación resultados propiedad Estabilidad Eléctrica*



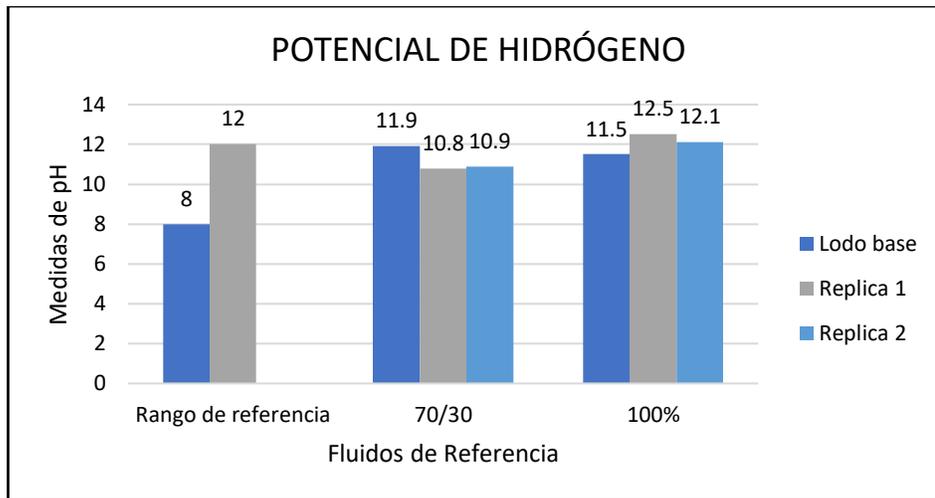
**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad *Estabilidad Eléctrica*

- **Potencial de Hidrógeno (pH).** La siguiente propiedad se evalúa por medio del instrumento pH-metro Apera PH-700 (Apera Instruments), que posee un rango de precisión de fábrica de  $\pm 0.01$  pH. La medición se realiza a los dos sistemas de lodo base aceite convencional, los cuales evidencian valores de pH adecuados, que se encuentra dentro del rango especificado en el Manual de Fluidos de Perforación API [14].

El valor de pH encontrado se utiliza como indicador de basicidad o acidez de las muestras, puesto que los fluidos de perforación altamente alcalinos (pH 8-13) ayudan a prevenir la corrosión en tuberías, maximizan rendimientos y activan los aditivos químicos presentes en el lodo [19].

**Figura 33.**

*Comparación resultados propiedad de Potencial de Hidrógeno*



**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad de Potencial de Hidrógeno

- **Alcalinidad ( $P_{om}$ ).** Es un método de titulación que por medio del indicador de fenolftaleína torna de color rosa la muestra de 2 mL de lodo como se observa en la figura 26, donde se determina el volumen en mL a utilizar de  $H_2SO_4$  (0.1 N) para el cambio de color y de esta manera establecer el exceso de cal en las muestras analizadas por medio de la ecuación No. 6 presentada a continuación.

**Figura 34.**

*Titulación prueba Alcalinidad*



**Nota.** La figura representa el proceso de titulación para la prueba de Alcalinidad.

### Ecuación 6.

*Cálculo del exceso de cal*

$$P_{om} = \text{ml de H}_2\text{SO}_4 \text{ 0,1N} \\ \text{por ml de lodo.} \\ \text{Exceso de cal (lb/bbl)} = P_{om} \times 1,295.$$

**Nota.** La ecuación representa el cálculo del exceso de cal

Para encontrar el exceso de cal en las muestras evaluadas se debe hallar la variable Pom, la cual es la relación de los ml gastados de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en la titulación entre los mL de la muestra de lodo, valores que se encuentran expuestos en la tabla 19 y 20 para cada sistema de lodo base aceite convencional.

**Tabla 19.**

*Resultados de prueba de alcalinidad lodo base aceite mineral 70/30*

<b>Lodo base aceite mineral 70/30</b>	<b>Lodo base</b>	<b>Lodo 1</b>	<b>Lodo 2</b>
<b>Pom</b>	0.26	0.36	0.3
<b>Exceso de cal (Lb/bbl)</b>	0.3367	0.4662	0.3885

**Nota.** La tabla representa los resultados de la prueba de alcalinidad del lodo base aceite mineral 70/30.

**Tabla 20.**

*Resultados de prueba de alcalinidad lodo base aceite mineral 100%*

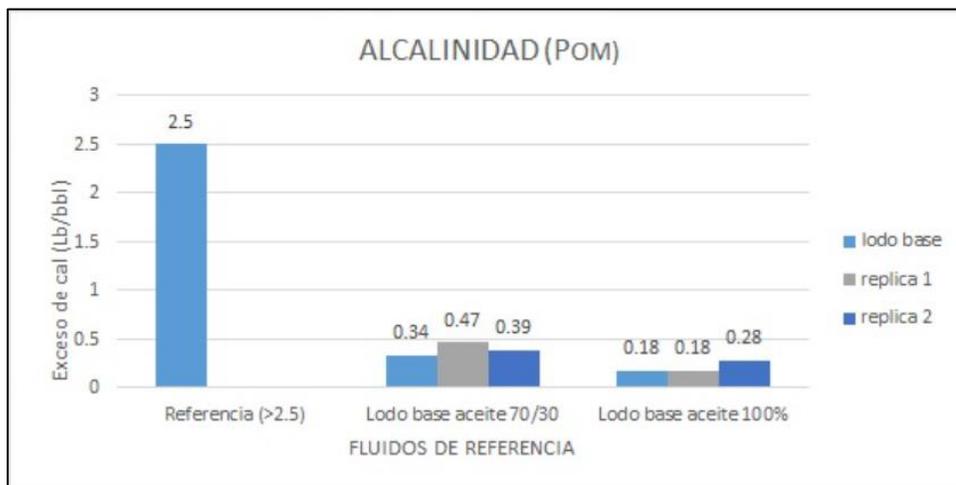
<b>Lodo base aceite mineral 100%</b>	<b>Lodo base</b>	<b>Lodo 1</b>	<b>Lodo 2</b>
<b>Pom</b>	0.14	0.14	0.22
<b>Exceso de cal (Lb/bbl)</b>	0.1813	0.1813	0.2849

**Nota.** La tabla representa los resultados de la prueba de alcalinidad lodo base aceite mineral 100%.

La siguiente figura presentada relaciona los resultados de la prueba de alcalinidad para los dos sistemas de fluido de perforación base aceite convencional en comparación al valor base encontrado en revisión bibliográfica [14]. Se evidencia una reducción del 84% para el sistema 70/30 base aceite mineral y 91.4% para el sistema 100%.

**Figura 35.**

*Comparación resultados propiedad Química de Alcalinidad*



**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad Química de Alcalinidad

El exceso de cal existente en un sistema de lodo esta alrededor de 5 a 10 lb/bbl y es necesario mantenerlo dentro del rango solo si se tiene zonas de yacimientos con alta concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), de la misma manera, este indicador con valores por encima de 2.5 lb/bbl establece una buena estabilidad de la emulsión de lodo analizado, por tal razón, se evidencia junto con los resultados de la prueba de estabilidad eléctrica realizada anteriormente que los sistemas de lodos base aceite convencional se vieron afectados por el almacenamiento y la falta de control de calidad, de igual manera, se debe tener en cuenta que otra posible causa sea la insuficiencia de emulsificante comercial, concentración que fue tomada según el paper de referencia.

- **Salinidad.** Es un método de titulación que por medio del indicador de cromato de potasio torna la muestra de 2 mL de lodo anteriormente analizada a color amarillo, determinando la cantidad de mL de Nitrato de Plata (0.282 N) necesario para lograr un color rojo ladrillo, titulación que es observada en la figura 27. El resultado de la titulación es necesario para el cálculo correspondiente a la ecuación 7, la cual es encontrada en el Manual de Fluidos de perforación [14].

**Figura 36.**

*Titulación prueba de salinidad*



**Nota.** Esta figura representa el proceso de titulación de la prueba de salinidad.

### **Ecuación 7.**

*Ecuación para el cálculo del porcentaje de cloruros de calcio en el lodo.*

$$\%CaCl_2(\text{peso}) = \left( \frac{ml\ AgNO_3\ 0,282 * 1,565}{(ml\ AgNO_3\ 0,282 * 1,565) + \% H_2O\ de\ la\ retorta} \right) * 100$$

**Nota.** Esta ecuación representa el cálculo del porcentaje de cloruros de calcio presentes en el lodo.

Los resultados obtenidos se encuentran en la siguiente tabla, donde se relaciona el porcentaje en peso del cloruro de calcio. Esta prueba solo se realiza al sistema 70/30 del lodo base aceite convencional, debido a que el sistema 100% no presenta en su formulación una parte de salmuera, por ende, no arroja un valor a analizar.

**Tabla 21.**

*Resultados de prueba de salinidad de lodo base aceite mineral relación 70/30*

Lodo base aceite mineral 70/30	Lodo base	Lodo 1	Lodo 2
%CaCl <sub>2</sub>	67.6%	75.8%	72.3%

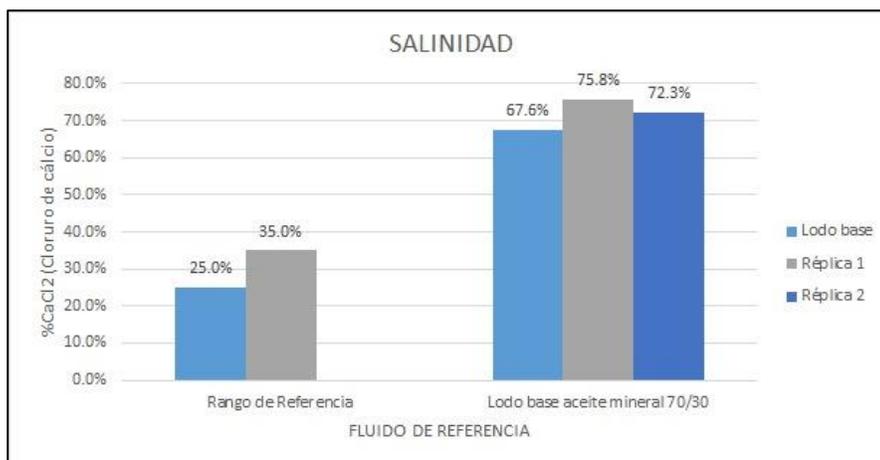
**Nota.** La tabla representa los resultados de la prueba de salinidad del lodo base aceite mineral en relación 70/30.

El tipo de sal utilizado en la formulación del fluido de perforación base aceite convencional es Cloruro de Calcio (CaCl<sub>2</sub>), calculado según la tabla de salmuera encontrado en el Manual de Fluidos de Perforación [14]. Sin embargo, al utilizar la relación calculada, la prueba de salinidad arroja valores por encima del rango establecido en revisión bibliográfica.

Es importante mantener la salinidad en el rango esperado con el fin de evidenciar una emulsión estable en el sistema de lodo evaluado, del mismo modo, esta propiedad determina la inhibición de la hidratación de arcillas presentes en las formaciones perforadas, donde valores por debajo del rango de porcentaje de salinidad causan hinchamiento de arcillas provocando inestabilidad del pozo, derrumbes y por consiguiente cavernas.

**Figura 37.**

*Comparación resultados propiedad Química de Salinidad*



**Nota.** La figura representa la comparación de los resultados de la propiedad química de salinidad.

### 3.5.2. Resultados de laboratorio fluido base aceite sintético-emulsión inversa

En las siguientes tablas se muestra la relación de resultados de las pruebas de laboratorio del fluido base aceite sintético - emulsión inversa de aguacate realizadas para el control de propiedades, con el fin de hacer un análisis de cada propiedad. Se encuentran depositados los resultados obtenidos para el fluido de perforación base aceite sintético emulsión inversa 70/30 de aguacate con sus debidas replicas, finalmente se hace un análisis de cada propiedad con ayuda de gráficos de barras.

**Tabla 22.**

*Propiedades del fluido de perforación base aceite sintético-emulsión inversa con relación 70/30 de Aguacate*

<b>Relación 70/30 lodo sintético- emulsión inversa de aguacate</b>	<b>Lodo 1</b>	<b>Lodo 2</b>	<b>Lodo 3</b>
MW (ppg)	11.2	11.5	11.4
VA (cP)	37.5	32.5	27
VP (cP)	21	12	6
PC (lb/100ft <sup>2</sup> )	33	41	42
Lectura @ 600 rpm	75	65	54
Lectura @ 300 rpm	54	53	48
Lectura @ 200 rpm	45	48	35
Lectura @ 100 rpm	28	32	30
Lectura @ 6 rpm	10	13	15
Lectura @ 3 rpm	7	5	7
Gel inst (lb/100ft <sup>2</sup> )	7	5	8
Gel 10 min (lb/100ft <sup>2</sup> )	10	11	10

Filtrado HTHP (ml/30 min)	<5	<5	<5
pH	11.53	12.1	12.5
ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 N (ml)	0.8	0.9	1.2
ml AgNO <sub>3</sub> (ml)	2,1	2.5	3
pH	10.04	10.88	11.53

**Nota.** La tabla representa la recopilación de las propiedades del fluido de perforación base aceite sintético-emulsión inversa con relación 70/30 de Aguacate.

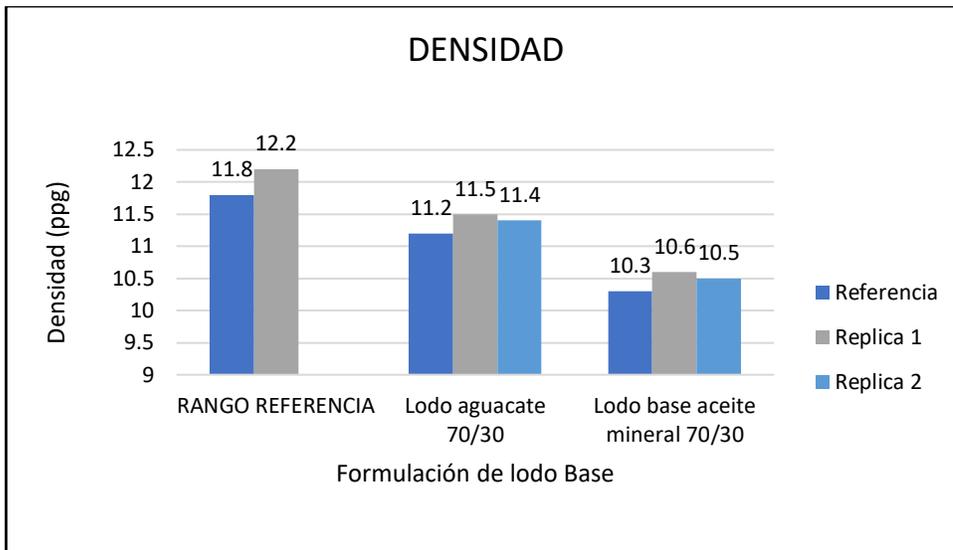
- **Densidad.** La primera propiedad por analizar es la densidad, en donde se debe tener en cuenta la base de referencia de comparación utilizada para el lodo base aceite convencional, así mismo, se puede evidenciar una densidad del lodo baja debido a que se pretende respetar las cantidades expuestas en los documentos de referencia que son base para la formulación de los fluidos base aceite patrón y los fluidos base aceite sintético - emulsión inversa.

El control de la propiedad de la densidad es importante debido a que está directamente relacionado con la presión hidrostática, es decir los fluidos con alta densidad aseguran un equilibrio de presiones, sumado a esto facilitan la limpieza de pozo, con el fin de realizar la remoción o suspensión de recortes en superficie. De modo que, con la información recolectada se llega a la conclusión que la densidad obtenida en laboratorio se encuentra cercana a la referencia bibliográfica.

En la siguiente figura se puede observar los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio, en contraste con los rangos establecidos en el paper de referencia del lodo base aceite convencional. De esta manera se puede evidenciar que se realiza un proceso adecuado por la cercanía de resultado en cada una de las réplicas.

**Figura 38.**

*Comparación resultados propiedad Densidad lodo de Aguacate*

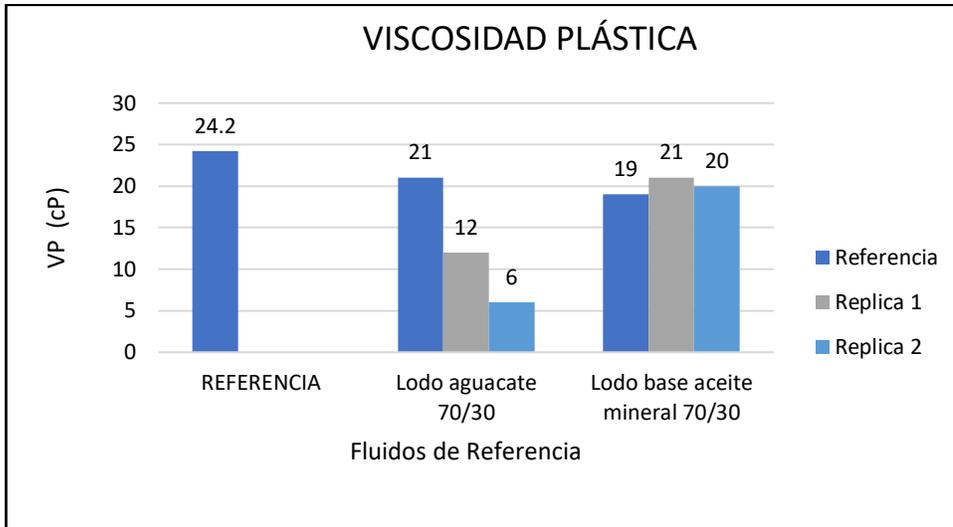


**Nota:** Esta figura representa la comparación resultados propiedad Densidad lodo de Aguacate.

- **Reología.** En cuanto a la viscosidad plástica, se puede denotar que tanto el valor obtenido para el lodo Safra oil del paper de referencia, los resultados de laboratorio para el lodo base aceite convencional y el lodo base aceite sintético-emulsión inversa utilizando los ácidos grasos del aguacate como fase continua, se encuentran con valores similares, de tal manera que se presentan resultados satisfactorios, haciendo que la propiedad de viscosidad plástica se mantenga en valores mínimos, lo cual ayuda a que el lodo mejore la hidráulica de la broca y las velocidades de penetración, que influye directamente en la limpieza correcta del pozo.

**Figura 39.**

*Comparación resultados propiedad Viscosidad Plástica lodo de Aguacate*



**Nota.** Esta figura representa la comparación resultados propiedad de viscosidad plástica lodo de Aguacate.

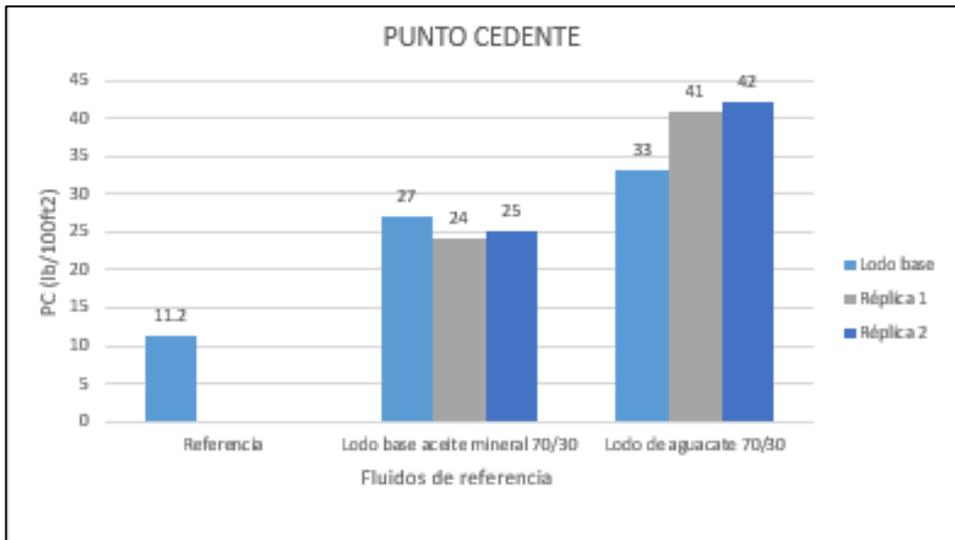
Teniendo en cuenta el emulsificante utilizado Cremophor co (Aceite de ricino hidrogenado etoxilado) con fórmula molecular ( $C_{21}H_{23}ClFNO_2$ ) caracterizado por ser una combinación de polietilenglicol sintético (PEG) con aceite de ricino natural, el cual no contiene cationes divalentes ni monovalentes, quienes son los responsables de establecer emulsiones estables, valores deseados de viscosidad plástica y de fuerzas de gel. [20] Al observar los resultados de la *figura 39*, se puede denotar el bajo rango de viscosidad lo que determina desde este momento el resultado deficiente de la propiedad de la estabilidad eléctrica, debido a que la cantidad de agente emulsionante es determinante para aislar las gotas de agua y prevenir su coalescencia, lo que afecta directamente a las propiedades del fluido de perforación si su cantidad es insuficiente.

En segundo lugar, la propiedad a analizar es el punto cedente en donde se puede evidenciar que los resultados obtenidos están por encima del valor establecido en el paper de referencia, lo cual se debe a la presencia de sólidos como cal hidratada, el cual tiene un efecto directo en el resultado de la floculación y el posterior aumento del

punto cedente. De igual manera, la diferencia de los resultados no es tan significativa y según el paper de referencia estos valores expuestos en la figura se consideran como aceptables. [1]

**Figura 40.**

*Comparación resultados propiedad Punto Cedente lodo de Aguacate*

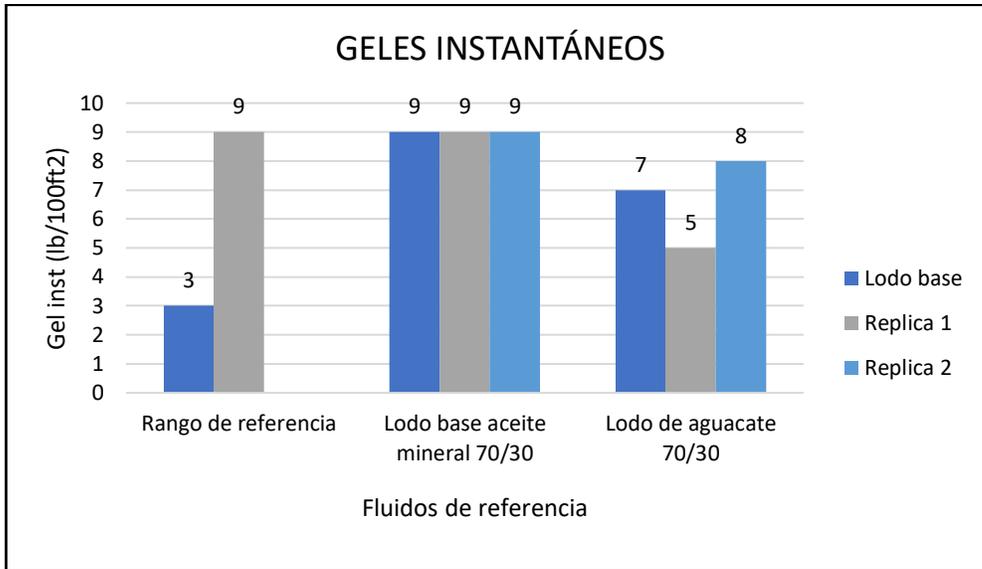


**Nota.** Esta figura representa la comparación resultados propiedad de punto cedente del lodo de Aguacate.

La fuerza de geles tomada a 10 segundos y a 10 minutos es la propiedad que tiene el fluido de medir las fuerzas de atracción estáticas, y que depende de los sólidos suspendidos que se puedan presentar para las formulaciones iniciales planteadas del fluido de perforación base aceite convencional en comparación del fluido de perforación base aceite sintético - emulsión inversa, siendo estos fluidos de sistemas de 70/30 (O/W Ratio), por consiguiente, se observa en las figuras correspondientes a geles instantáneos y de 10 minutos valores dentro de los rangos esperados según revisión bibliográfica [14], esto se debe a que la relación de agua-aceite influye directamente en la fuerza de geles.

**Figura 41.**

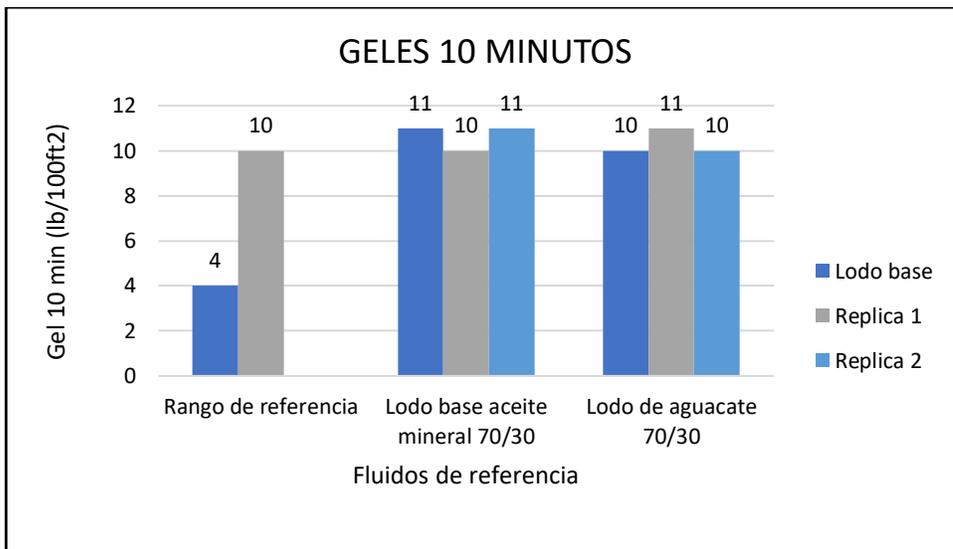
*Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles Instantáneos lodo de Aguacate*



**Nota.** Esta figura representa la comparación resultados propiedad de geles instantáneos del lodo de Aguacate.

**Figura 42.**

*Comparación resultados propiedad de Fuerza de Geles 10 minutos lodo de Aguacate*

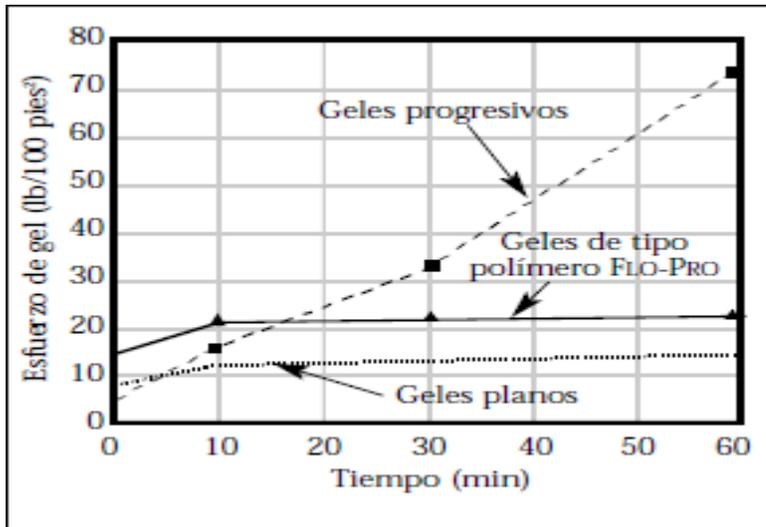


**Nota.** Esta figura representa la comparación resultados propiedad de geles a 10 minutos del lodo de Aguacate.

Según los resultados obtenidos en las figuras anteriormente expuestas para las propiedades de fuerza de geles y punto cedente, la cuales están ligadas con la propiedad de tixotropía del lodo según el modelo plástico de Bingham, presentan geles progresivos determinado con base a la medición de geles a 10 segundos y 10 minutos, tomando en cuenta la siguiente imagen.

**Figura 43.**

*Modelo Plástico de Bingham*



**Nota.** Geles progresivos según el modelo plástico de Bingham. Tomado de: API, I., "Manual de fluidos de Perforación". Dallas, Texas, Estados Unidos, 2001. [PDF]. Disponible: [https://www.academia.edu/33533772/MANUAL\\_DE\\_FLUIDOS\\_DE\\_PERFORACION\\_API\\_pdf?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/33533772/MANUAL_DE_FLUIDOS_DE_PERFORACION_API_pdf?source=swp_share) Acceso: Marzo,22, 2021.

El modelo reológico de geles progresivos es un indicativo de la acumulación de sólidos como la cal hidratada y la arcilla organofílica presentes en la formulación del fluido, por tal razón el lodo se vio afectado por la velocidad de corte y la toma de las mediciones, lo cual indica directamente la deficiencia de tixotropía del fluido por el aumento en los resultados obtenidos en la propiedad fuerza de geles, debido a que no se debe permitir que la gelificación alcance un nivel más alto de lo necesario en el sistema de ser así induce complicaciones directas en el desempeño de las funciones del fluido de perforación.

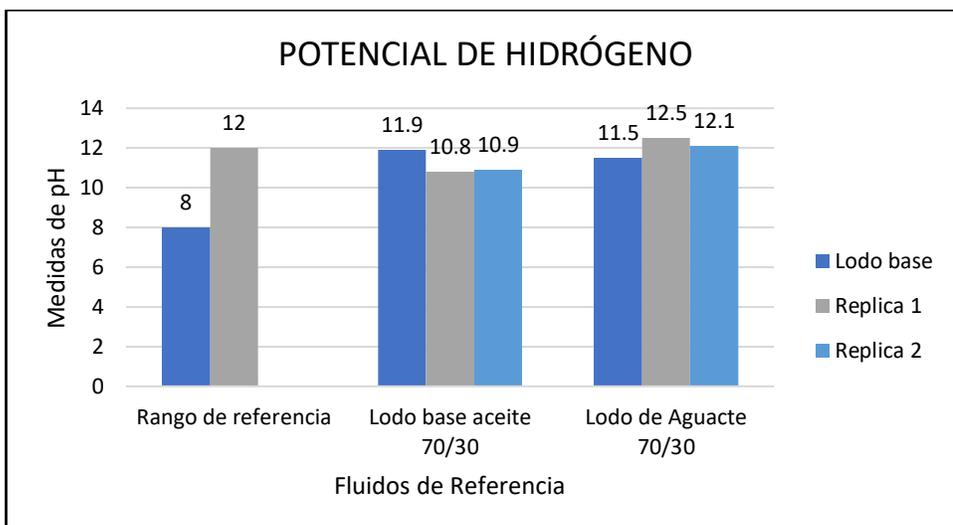
- **Potencial de Hidrógeno.**

La siguiente propiedad se evalúa por medio del instrumento pH-metro Apera PH-700 (Apera Instruments), que posee un rango de precisión de fábrica de  $\pm 0.01$  pH. La medición se realiza al fluido de perforación base aceite sintético – emulsión inversa, que utiliza como materia prima los ácidos grasos de Aguacate, los cuales evidencian valores de pH dentro del rango especificado en el Manual de Fluidos de Perforación API [14] y de igual están cercanos en comparación del fluido perforación base aceite convencional. Es debido mencionar que el método de extracción realizado al aceite vegetal de aguacate utiliza  $H_2SO_4$  como agente de separación de las fases, por consiguiente, se obtuvo un pH extremadamente ácido debido a las trazas de  $H_2SO_4$  que puedan estar remanentes en la muestra extraída. Esta es la razón principal de la alteración que tuvo la formulación del lodo de aguacate como método de aumento de pH del sistema.

Como se mencionó anteriormente los fluidos de perforación altamente alcalinos (pH 8-13) ayudan a prevenir la corrosión en tuberías, maximizan rendimientos y activan los aditivos químicos presentes en el lodo [19].

**Figura 44.**

*Comparación resultados propiedad de Potencial de Hidrógeno lodo de Aguacate.*



**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad de Potencial de Hidrógeno lodo de Aguacate

- **Alcalinidad.** La propiedad de Alcalinidad es analizada y calculada de la misma manera que es presentada en la parte *f* de la sección 3.5.1, obteniendo valores que son encontrados en la siguiente tabla.

**Tabla 23.**

*Resultados de prueba de alcalinidad lodo base aceite sintético-emulsión inversa de aguacate 70/30*

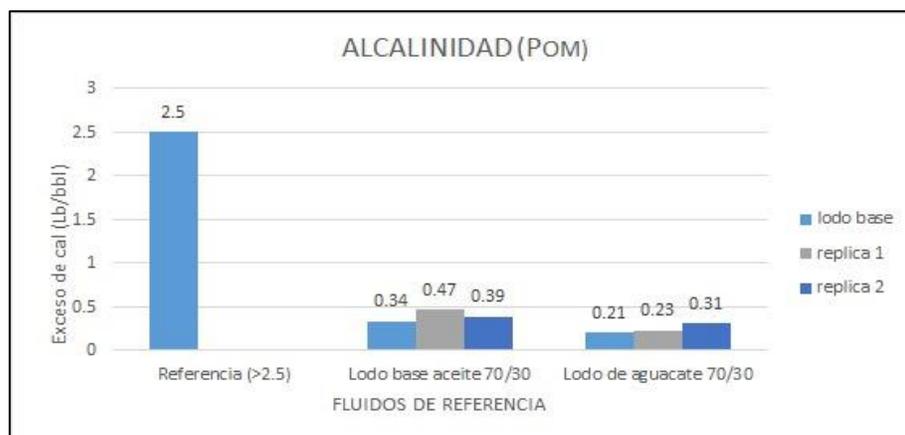
Lodo base aceite sintético emulsión inversa aguacate 70/30	Lodo base	Lodo 1	Lodo 2
Pom	0.16	0.18	0.24
Exceso de cal (Lb/bbl)	0.2072	0.2331	0.3108

**Nota.** La tabla representa los Resultados de prueba de alcalinidad lodo base aceite sintético-emulsión inversa de aguacate 70/30

Con los resultados obtenidos, se presenta la figura correspondiente donde se puede observar que la tendencia en exceso de cal esta cercana en un 37.5%, por consiguiente, no logra llegar al rango de referencia especificado anteriormente, el cual es tomado de revisión bibliográfica, por tal razón, los dos fluidos de perforación comparados y analizados no tiene una buena estabilidad de emulsión.

**Figura 45.**

*Comparación resultados propiedad química de Alcalinidad lodo de Aguacate*



**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad de Alcalinidad del lodo de Aguacate

Este indicador de alcalinidad arroja una causa para evidenciar que los sistemas de lodos base aceite convencional y base aceite sintético - emulsión inversa se vieron afectados por el almacenamiento y la falta de control de calidad, de igual manera, se debe tener en cuenta que otra posible causa sea la insuficiencia de emulsificante comercial, concentración que fue tomada según los papers de referencia.

- **Salinidad.** La propiedad de Salinidad es analizada y calculada de la misma manera que es presentada en la parte **g** de la sección 3.5.1, obteniendo valores que son encontrados en la siguiente tabla.

**Tabla 24.**

*Resultados de prueba de salinidad lodo base aceite sintético emulsión inversa de aguacate relación 70/30*

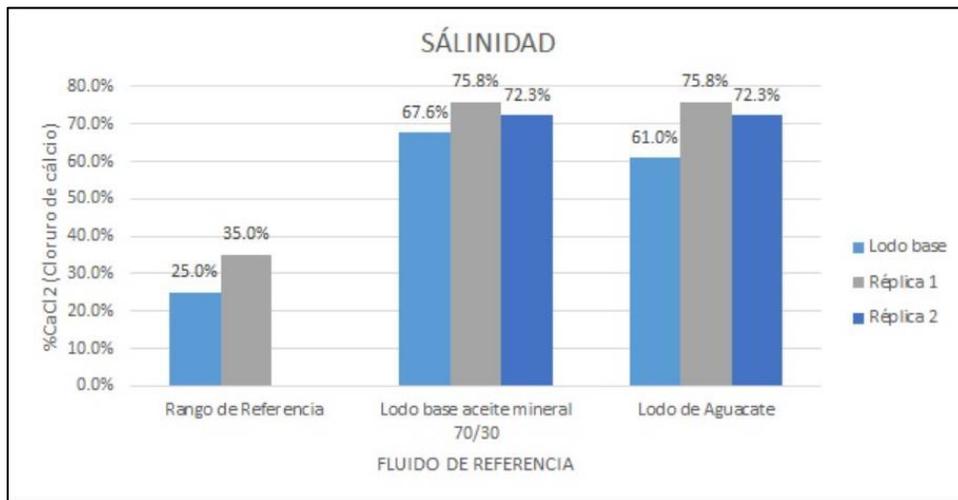
Lodo base aceite sintético emulsión inversa aguacate 70/30	Lodo base	Lodo 1	Lodo 2
%CaCl <sub>2</sub>	61.0%	75.8%	72.3%

**Nota.** Esta tabla representa los resultados de prueba de salinidad lodo base aceite sintético emulsión inversa de aguacate relación 70/30

El tipo de sal utilizado en la formulación del fluido de perforación para los dos sistemas es Cloruro de Calcio (CaCl<sub>2</sub>), sin embargo, no presentan la misma concentración de salmuera utilizada en cada formulación, esto influiría directamente en los resultados obtenidos para el lodo de aguacate. A pesar de lo anterior mencionado, la figura 46, que se presenta a continuación evidencia un porcentaje de Cloruro de Calcio (CaCl<sub>2</sub>) similar para los dos sistemas que se encuentran en comparación con el rango especificado en revisión bibliográfica [14].

**Figura 46.**

*Comparación resultados propiedad química de salinidad lodo de Aguacate*



**Nota.** Esta figura representa la Comparación resultados propiedad química de salinidad lodo de Aguacate

Como es mencionado anteriormente es importante mantener la salinidad en el rango esperado con el fin de evidenciar una emulsión estable en el sistema de lodo evaluado y la inhibición de la hidratación de arcillas.

Según los resultados anteriores se hace necesario mencionar que la prueba de estabilidad eléctrica y filtrado HT/HP, las cuales establecen una buena emulsión en el sistema y un buen control de filtrado respectivamente, no se lograron realizar al lodo de aguacate debido a todos los factores anteriormente mencionados y que el estado en que se encontrada el lodo no era aceptable como se puede evidenciar en la siguiente figura. Las limitaciones existentes por la cuarentena general en Colombia en el mes Marzo-Abril fueron una parte clave de influencia en el control de calidad del fluido perforación, haciendo que se alteraran propiedades físicas y químicas.

### **Figura 47.**

*Estado lodo de aguacate después de 15 días  
almacenamiento*



**Nota.** La figura representa el deterioro del lodo después de 15 días de almacenamiento.

### **3.6. Comparación Final de resultados**

La finalidad del presente proyecto es evaluar una formulación de un fluido de perforación base aceite sintético - emulsión inversa, siendo una opción más amigable con el medio ambiente en la industria petrolera sin afectar la funcionalidad de un lodo de perforación, el cual es analizado mediante el control de propiedades físicas y químicas realizadas a lo largo del proyecto.

El análisis de cada una de las propiedades marca diferencia, debido a que cada una de ellas tiene un efecto directo en el desempeño del fluido de perforación a evaluar y de igual manera, la selección del apropiado sistema de lodo es crucial para cumplir a cabalidad las funciones principales necesarias en la formación a trabajar.

Por medio de los análisis expuestos anteriormente, se puede evidenciar como la mayor limitación de la implementación de los fluidos base aceite sintético – emulsión inversa, el aumento del gasto de inversión en relación con los fluidos convencionales utilizando aceite mineral, lo cual tiene una influencia directa en la toma de decisiones por

parte de las operadoras que pretendan implementar alternativas que no afecten en gran escala el medio ambiente.

Adicionalmente, es claro que durante el desarrollo del proyecto de investigación la afectación existente a causa de la coyuntura presentada a nivel mundial y la limitación de los laboratorios de la Fundación Universidad de América ocasiono una alteración en la evaluación de algunas propiedades físicas y químicas de los fluidos de perforación planteados al inicio. De tal manera que, se hace evidencia que las propiedades realizadas al lodo fresco como densidad, reología y pH se encuentran dentro del rango esperado por bibliografía, sin embargo, las propiedades tomadas para los lodos patrón después del tiempo de almacenamiento por los laboratorios de Baker Hughes, se encuentran por fuera de los rangos esperados, haciendo que se valide la hipótesis sobre la falta de seguimiento y control de calidad de los fluidos de perforación estudiados.

#### 4. CONCLUSIONES

El rendimiento o eficiencia que se obtuvo de la extracción de los ácidos grasos de Naranja es del 5% utilizando el aceite esencial de Naranja, que en comparación del 60% de eficiencia de los ácidos grasos de aguacate empleando el aceite vegetal de Aguacate, aplicando el método de hidrolisis acida planteado en el documento guía como mecanismo de extracción de los ácidos grasos se determina que el uso del aceite esencial de naranja como materia prima para la extracción de ácidos grasos no es viable, por tal razón y teniendo en cuenta la cantidad mínima de ácido graso de naranja no se realiza el fluido de perforación de base aceite sintético - emulsión inversa planteado originalmente.

Los sistemas 70/30 y 100% (O/W Ratio) del fluido de perforación base aceite convencional presentan valores mínimos de estabilidad eléctrica, obteniendo porcentajes de disminución de 94.73% y 93.84% respectivamente, por ende, la concentración de 12 gramos para el sistema 70/30 y de 1 gramo para el sistema 100% de emulsificante comercial (Cremophor CO) no es la suficiente para mantener una estabilidad de emulsión Agua/Aceite.

El sistema 70/30 (O/W Ratio) del lodo base aceite convencional se utilizó como base de comparación con el lodo base aceite sintético – emulsión inversa para el análisis de propiedades representativas como la viscosidad plástica, donde se observa gráficamente un mejor desempeño para la formulación del lodo de aguacate 3, arrojando el valor más bajo de 6 cP en comparación a 21 cP, valor obtenido por el lodo de aguacate 1 y por el lodo base aceite mineral 70/30, este valor mínimo de viscosidad indica altas velocidades de penetración y aumento de energía en la broca que ayudan a la correcta limpieza del lodo.

El modelo de reología según Bingam establece las condiciones para determinar los geles progresivos presentes en el análisis de tixotropía, lo cual es un indicativo de la acumulación de sólidos como la cal hidratada y la arcilla organofílica que están presentes en la formulación inicial, que reaccionan con los demás productos y aditivos, afectando directamente las propiedades del punto cedente y fuerza de geles según resultados obtenidos.

El análisis de costos arroja valores de gastos de inversión para la formulación de los dos fluidos de perforación de base aceite sintético - emulsión inversa en comparación al fluido de perforación base aceite convencional, donde se evidencia los costos de inversión de \$88.830 para el lodo que utiliza ácidos grasos A y costos de inversión de \$624.330 para el lodo que utiliza ácidos grasos N, por consiguiente, la implementación del aceite esencial de naranja representa una inversión mayor del 85.77% en comparación al uso del aceite vegetal de aguacate.

El análisis cuantitativo de los ácidos grasos libres determino la presencia en cuanto a porcentajes de concentración de ácido oleico, láurico y palmítico para los dos ácidos grasos extraídos en la fase I, obteniendo mayor concentración de ácido graso oleico con un 21.93% para el ácido graso A y 10.34% para el ácido graso N, lo que indica según revisión bibliográfica, que este tipo de ácido graso libre posee la característica de ser más difícil de lograr una emulsión estable, lo que afecta directamente la prueba de estabilidad eléctrica.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Correia, G. Godoy, M. Garcia y R. Vega, "Formulación de un fluido de perforación base diésel de bajo impacto ambiental", *Boletín de Geología*, vol. 37, no. 2, pp.75-82, 2015. Disponible: URL.  
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/4638/4834> [Acceso: enero 12, 2021].
- [2] A. F. Guiza Z., M. K. Rios B., "Análisis de experiencias recientes en el tratamiento y disposición de residuos industriales de perforación de las operaciones costa afuera en el caribe colombiano", tesis pre., Facultad de Ingeniería Físicoquímica, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible:  
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2018/172834.pdf>
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "*Resolución 631 del 2015*", Bogotá D.C, 2015. [En línea]. Disponible:  
[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf)
- [4] DNP, "*Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos*", CONPES 3874, Bogotá D.C, 2018. [En línea]. Disponible:  
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>  
[Acceso: enero 27, 2021]
- [5] DNP. (2016). "Informe Nacional de aprovechamiento". [En línea].  
[http://www.andi.com.co/Uploads/22\\_Informa\\_de\\_Aprovechamiento\\_187302.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/22_Informa_de_Aprovechamiento_187302.pdf).  
[Acceso: enero 25, 2021]
- [6] R. Cummings, C. Garcia., A. Hawthorn., R. Holicek, " Más allá de las profundidades: Los desafíos de la región de aguas ultra-profundas, *Oilfield review*, 2005.[En línea].  
[http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/geoquimpetrolFI/zonadesplegar/Lecturas/ultimas/Mas\\_all%E1\\_de\\_las\\_profundidades\\_desfios\\_de\\_aguas\\_Ultrprofun.pdf](http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/geoquimpetrolFI/zonadesplegar/Lecturas/ultimas/Mas_all%E1_de_las_profundidades_desfios_de_aguas_Ultrprofun.pdf)

- [7] Instituto Politécnico Nacional, "Obtención de ácidos grasos a partir de aceite de coco, soya y canola mediante hidrólisis ácida", Instituto Politécnico Nacional. [En línea]. Disponible: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/20692>
- [8] J. Ramasamy, Md. Amanullah, M.M. Alsaihat, "Emulsifier Developed From Waste Vegetable Oil for Application in Invert-Emulsion Oil Based Mud", *SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition*, 2018, DOI: <https://doi.org/10.2118/192230-MS> [Acceso: noviembre 24, 2020]
- [9] P. Ihenacho, M. L. Burby, G. G. Nasr y G. C. Enyi, "50/50 oil-water ratio invert emulsion drilling mud using vegetable oil as continuous phase", *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 239-242, 2016. [En línea]. Disponible: URL. <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/38032/> [Acceso: noviembre 15, 2020]
- [10] I. A. Fawcett V., "Análisis de extracción de aceite de aguacate por métodos físicos y evaluación de una producción a gran escala", tesis pre., Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de los Andes, Bogotá, 2004. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/21769/u258460.pdf>
- [11] G. Pérez P. "Extracción de aceite esencial a partir de cáscara de naranja Valencia (*Citrus sinensis*) por dos métodos: Arrastre de vapor y solvente orgánico", tesis pre., Facultad de Industrias Alimentaria, Departamento Académico de Ciencia, Tecnología e Ingeniería de Alimentos, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú, 2000. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/185>
- [12] T. Alvarado D., A. Hernandez S., "Revisión de alternativas sostenibles para el aprovechamiento del orujo de naranja", *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, vol. 5, no. 2, pp. 9-32, 2018. [En línea]. Disponible: URL <http://revistas.sena.edu.co/index.php/recia/article/view/1393/pdf> [Acceso: febrero 12, 2021]

- [13] J. K. Fink, Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids Chapter 1: Drilling Muds, Gulf Professional Publishing, pp. 1-59, 2015, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-383844-5.00001-5> [Acceso: febrero 15, 2021]
- [14] API, I., "*Manual de fluidos de Perforación*". Dallas, Texas, Estados Unidos, 2001. [PDF]. Disponible: [https://www.academia.edu/33533772/MANUAL\\_DE\\_FLUIDOS\\_DE\\_PERFORACION\\_API\\_pdf?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/33533772/MANUAL_DE_FLUIDOS_DE_PERFORACION_API_pdf?source=swp_share) Acceso: Marzo,22, 2021.
- [15] PDVSA, C., "*Manual de Fluidos de perforación*". Anzoátegui, Venezuela: Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). 2002. [PDF]. Disponible: [https://www.academia.edu/20265052/Manual\\_de\\_Fluidos\\_de\\_Perforacion\\_PDVS\\_A\\_CIED?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/20265052/Manual_de_Fluidos_de_Perforacion_PDVS_A_CIED?source=swp_share) Acceso: Abril,02,2021.
- [16] V. Hernandez M., J. A. Tovar B., "*Guía de prácticas de Laboratorio Química Industrial Orgánica Experimental*", Bogotá, Colombia,2014. [PDF]. Disponible: [https://www.academia.edu/28491452/GUÍA\\_Química\\_Industrial\\_Orgánica\\_Experimental\\_I?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/28491452/GUÍA_Química_Industrial_Orgánica_Experimental_I?source=swp_share) Acceso: Marzo, 29,2021
- [17] A. F. Cerón C., O. Osorio M., A. Hurtado B., "Identificación de ácidos grasos presentes en el aceite extraído a partir de semillas de Guanábana (*Annona muricata*)", *La revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 29, no. 1, pp. 81-87, 2012. [En línea]. Disponible: URL. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/370> [Acceso: Marzo 11,2021]
- [18] E. Ariza L., A. L. Castro C., J. D. Gómez C., "Factibilidad del uso del almidón de achira como agente", *Revista Ion*, vol. 26, no. 1, 2013. [En línea]. Disponible: URL. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/3534> [Acceso: Marzo 11,2021]
- [19] A. M. Maldonado B., "Formulación y Evaluación de Fluidos de Perforación de Base Agua de Alto Rendimiento Aplicados al Campo Balcon Como Sustitutos de Lodo Base Aceite", Doctoral dissertation, tesis pre., Facultad de ingenierías físico-

- químicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 2006.[En línea] Disponible: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121946.pdf>
- [20] D. Williamson, "Fundamento de los fluidos de perforación", *Oilfield Review*, vol. 25, no. 1, pp. 67-69, 2013. [En línea]. Disponible: URL <https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/defining-drilling-fluids-sep-2013> [Acceso: Abril 05,2021]
- [21] I. Cerón-Salazar, C. Cardona-Alzate, "Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja", *ing.cienc*, vol. 7, no. 13, pp. 65-86, 2011. [En línea]. Disponible: URL. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-91652011000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652011000100004&lng=en&nrm=iso) [Acceso: Febrero 22, 2021]
- [22] DNP. (2016). "Informe Nacional de aprovechamiento". [En línea]. <http://www.andi.com.co/Uploads/22.Informa.de.Aprovechamiento.187302.pdf>. [Acceso: enero 25, 2021]
- [23] I. Cerón-Salazar, C. Cardona-Alzate, "Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja", *ing.cienc*, vol. 7, no. 13, pp. 65-86, 2011. [En línea]. Disponible: URL. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-91652011000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652011000100004&lng=en&nrm=iso) [Acceso: Febrero 22, 2021]
- [24] C. Rivera-Pérez, F. Garcia-Carreño, "Enzimas Lipolíticas y su Aplicación en la Industria del Aceite", *BioTecnología*, vol. 11, no. 2, pp. 37-45, 2007. [En línea]. Disponible: URL. [https://www.academia.edu/download/39537819/articulo\\_de\\_lipasas\\_en\\_la\\_industria\\_alimentaria.pdf](https://www.academia.edu/download/39537819/articulo_de_lipasas_en_la_industria_alimentaria.pdf) [Acceso: Mayo 21, 2021]
- [25] N. P. Mendoza, "Obtención de los ácidos grasos del aceite de la *Plukenetia volubilis* L." Sacha Inchi" para la utilización en la industria y estudio fitoquímico cualitativo de la almendra", tesis pre., Facultad de Química e Ingeniería química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 2008. [En línea]. Disponible: [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2115/Pariona\\_m\\_n.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2115/Pariona_m_n.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [26] F. Young Jr, Applied Drilling Engineering, SPE Textbook Series 2, 1986. [PDF].

Disponible: <http://petroleumpdf.com/easydownloads-file/?downloadFile=1283>

- [27] J. A. Hernandez T., "Análisis de los fluidos de perforación en la industria petrolera", , tesis doctoral., Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Veracruzana, Veracruz, Mexico, 2010. [En línea]. Disponible: [https://www.academia.edu/download/36626878/fluidos\\_de\\_perforacion\\_tesis.pdf](https://www.academia.edu/download/36626878/fluidos_de_perforacion_tesis.pdf)
- [28] P. Skalle. (2011). *Drilling fluid engineering*, Bookboon, 2011. [En línea]. Disponible: <https://bookboon.com/es/drilling-fluid-engineering-ebook>
- [29] J. A. Guerrero G. y J. D. Lopez R., "Matriz para la selección de un fluido de perforación base agua, con el fin de prevenir el daño a la formación en el campo Castilla", tesis pre., Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, 2019. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7354>
- [30] Schlumberger, "Oilfield Glossary", [En línea]. Disponible: [https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/m/mud\\_weight](https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/m/mud_weight). [Acceso: Febrero 28, 2021].
- [31] C.S. Quiñones C., C.S. Romero M., " Evaluación a nivel de laboratorio de la eficiencia de un inhibidor de arcillas y un controlador de filtrado mediante nanotecnología para la formulación de fluidos base agua en el Campo Pendare", tesis pre., Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8149>
- [32] Schlumberger, "Oilfield Glossary", [En línea]. Disponible: [https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/p/plastic\\_viscosity#:~:text=Un%20par%20del%20modelo%20pl%20stico,matem%20ticas%20del%20modelo%20de%20Bingham](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/p/plastic_viscosity#:~:text=Un%20par%20del%20modelo%20pl%20stico,matem%20ticas%20del%20modelo%20de%20Bingham). [Acceso: Febrero 28, 2021].
- [33] G. A. Barroeta parra, "Diseño de Secuencia de Pruebas para la Selección de Fluidos de Perforación en Pozos de Alta Presión y Temperatura", tesis pre., Facultad de Ingenierías, Universidad Rafael Urdaneta, Venezuela, 2008. [En línea]. Disponible:

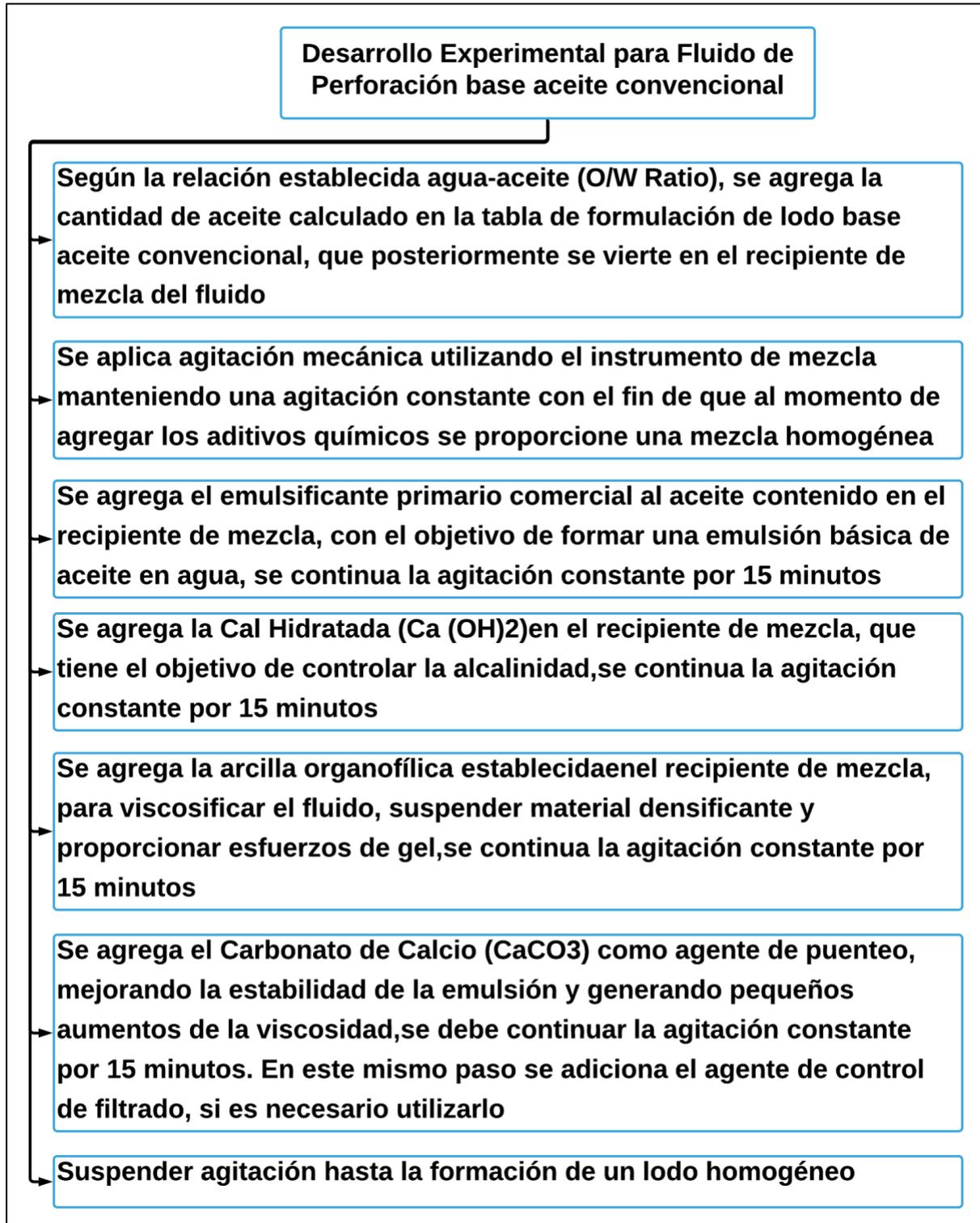
[https://www.academia.edu/39821416/DISE%C3%91O\\_DE\\_SECUENCIA\\_DE\\_PRUEBAS\\_PARA\\_LA\\_SELECCI%C3%93N\\_DE?source=swp\\_share](https://www.academia.edu/39821416/DISE%C3%91O_DE_SECUENCIA_DE_PRUEBAS_PARA_LA_SELECCI%C3%93N_DE?source=swp_share)

- [34] N. D. Chaparro C., L. T. Villamil G., "Evaluación técnico-financiera mediante pruebas de laboratorio del uso de microesferas huecas de vidrio en fluido de perforación base agua para Campo Castilla" tesis pre., Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, 2017. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/949>
- [35] G. Mesias V., R. Gallegos O., "Estudio experimental mediante normas api de un yacimiento de barita de la provincia de morona santiago para su uso en fluido de perforación", tesis pre., Facultad de Ingenierías, Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 1999. [En línea]. Disponible: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3413>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### METODOLOGÍA DE LA ELABORACIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN



**Desarrollo Experimental para Fluido de Perforación  
Base Aceite Sintético-Emulsión Inversa**

Según la relación establecida agua-ácidos grasos, se agrega la cantidad de ácidos grasos calculados en la tabla de formulación de lodo base aceite sintético-emulsión inversa, que posteriormente se vierte en el recipiente de mezcla del fluido.

Se aplica agitación mecánica utilizando el instrumento de mezcla manteniendo una agitación constante con el fin de que al momento de agregar los aditivos químicos se proporcione una mezcla homogénea

En otro recipiente aparte se deben agregar las esferas del cloruro de calcio lentamente al porcentaje de agua establecido y se agita por 15 minutos.

Se agrega el emulsificante primario comercial al ácido graso contenido en el recipiente de mezcla, con el objetivo de formar una emulsión básica de ácido graso en agua, se continua la agitación constante por 15 minutos

La mezcla de salmuera preparada anteriormente es adicionada al recipiente de mezcla que contiene el ácido graso, para luego agregar un agente emulsificante secundario, manteniendo agitación por 15 minutos.

Se agrega la Cal Hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en el recipiente de mezcla, que tiene el objetivo de controlar la alcalinidad, se continua la agitación constante por 15 minutos

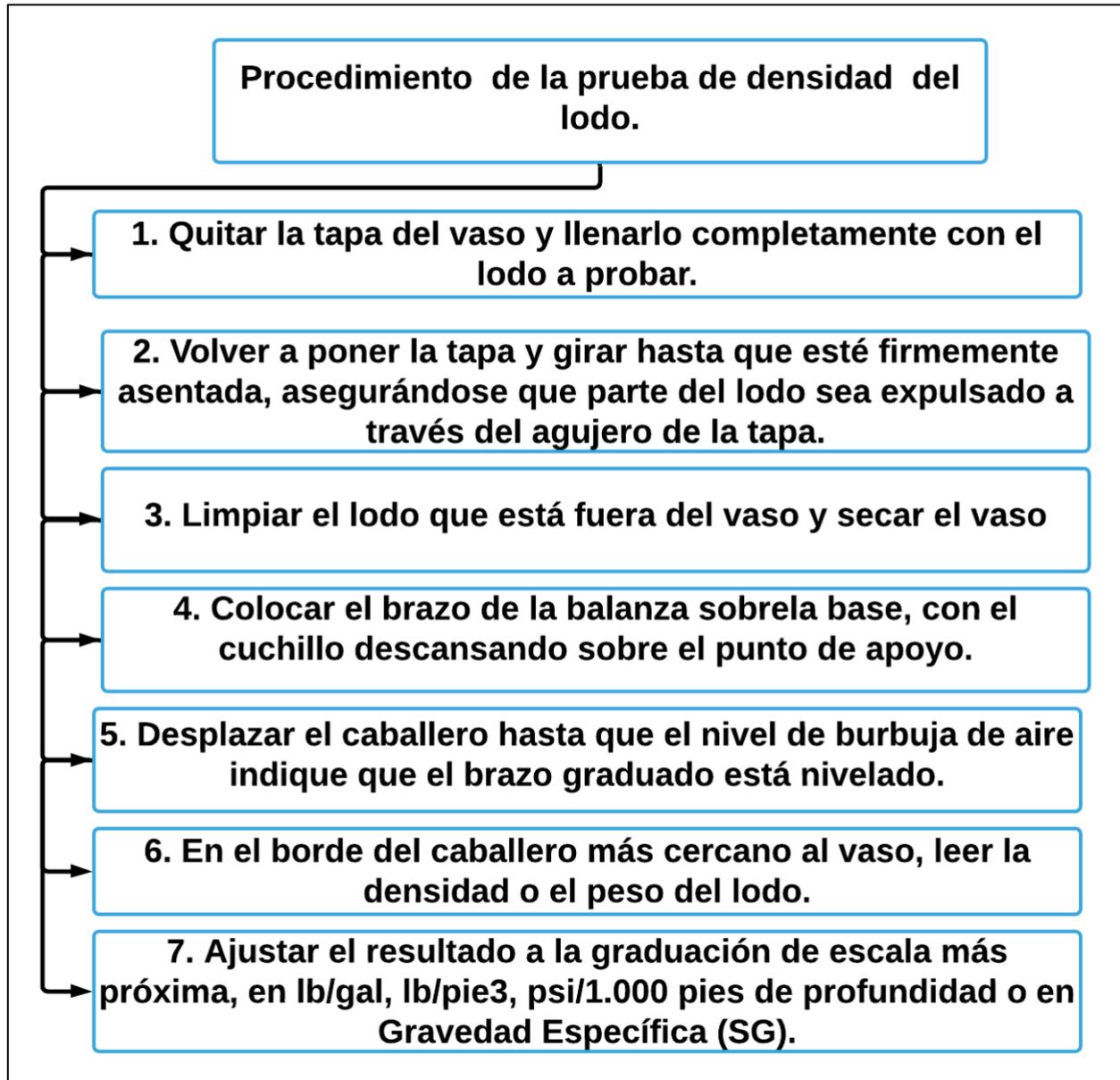
Se agrega la arcilla organofílica establecida en el recipiente de mezcla, para viscosificar el fluido, suspender material densificante y proporcionar esfuerzos de gel, se continua la agitación constante por 15 minutos

Se agrega el Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) como agente de puenteo, mejorando la estabilidad de la emulsión y generando pequeños aumentos de la viscosidad, se debe continuar la agitación constante por 15 minutos. En este mismo paso se adiciona el agente de control de filtrado, si es necesario utilizarlo

Suspender agitación hasta la formación de un lodo homogéneo

## ANEXO 2

### PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL LODO



### Procedimiento de la prueba de reologia

1. Conectar el instrumento a la fuente de poder apropiada
2. Lenar la taza del viscosimetro hasta la marca con el fluido.
3. Colocar la taza del viscosimetro en el thermocup y calentar a 120 F
4. Colocar el thermocup en la plataforma y coincidir el nivel de la muestra con la marca del rotor.
5. Encender el equipo y colocar la palanca de cambios en cada una de las medidas necesarias para las lecturas ( Las lecturas se toman a 600rpm, 300 rpm, 100 rpm, 6rpm, 3rpm ).

### Procedimiento de la prueba de estabilidad electrica

1. Colocar en un contenedor una muestra filtrada a través de una mall (Malla del Viscosímetro de Marsh), verificando que el fluido haya sido bien agitado.
2. Calentar o enfriar la muestra a  $120\pm 5^{\circ}\text{F}$  ( $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ ). Registrar la temperatura a la cual se tomó la indicación de estabilidad eléctrica.
3. Después de verificar la limpieza del electrodo, sumergir el electrodo dentro del lodo. Agitar manualmente la muestra con el electrodo durante aproximadamente 10 segundos. Mantener el electrodo inmóvil y evitar que el electrodo toque los lados o el fondo del contenedor al leer la indicación.
4. Pulsar y mantener pulsado el botón hasta que el valor desplegado se estabilice.Registrar el valor desplegado como estabilidad eléctrica (voltios).
5. Limpiar la sonda eléctrica y repetirla prueba. Las dos indicaciones no debería diferir en más de 5%. Si las indicaciones difieren en más de 5%,verificar el medidor y la sonda eléctrica para detectar cualquier falla.
- 6.Registrar el promedio de las dos medidas como estabilidad eléctrica.

### Procedimiento de la prueba química de alcalinidad (Pom)

1. Colocar 100 ml de mezcla de Xileno/IPA o 75 ml de Propasol Propílico dentro del frasco de vidrio. Llenar una jeringa de 5 ml con lodo entero hasta exceder la marca de 3 ml.

2. Disipar 2 ml de lodo base aceite dentro del solvente y añadir 200 ml de agua destilada.

3. Añadir 15 gotas de fenolftaleína.

4. Agitar rápidamente con un agitador magnético, un agitador Hamilton Beach o cualquier agitador equivalente

5. Al agitar, valorar lentamente con  $H_2SO_4$  0,1N hasta que el color rosa desaparezca. Seguir agitando, y si el color rosa no reaparece dentro de un minuto, dejar de agitar. Puede que sea necesario dejar de agitar y esperar que la mezcla se separe en dos fases para que el color pueda ser observado con más claridad en la fase acuosa.

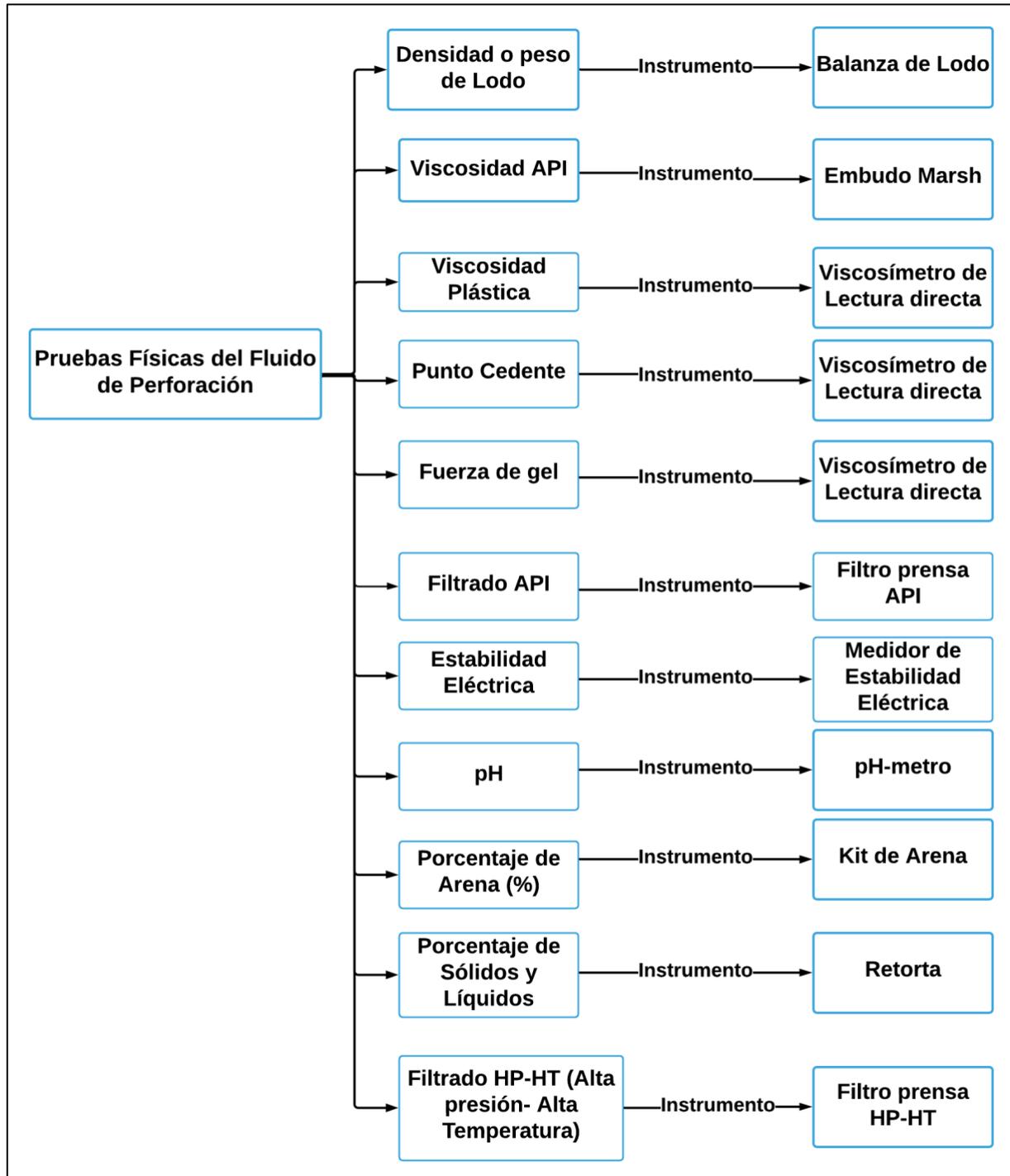
6. Dejar reposar la muestra durante 5 minutos. Si el color rosa no reaparece, el punto final ha sido alcanzado. Si el color rosa reaparece, valorar otra vez con ácido sulfúrico. Si el color rosa reaparece por tercera vez, valorar de nuevo. No se debe valorar después de la tercera vez.

### Procedimiento de la prueba química de salinidad

1. Añadir 100 ml de solvente de xileno/isopropanol 50/50 ó 75 ml de PropasolPropílico al frasco.
2. Llenar una jeringa de 5 ml con lodo base aceite entero hasta exceder la marca de 3 ml.
3. Desplazar 2 ml de lodo base aceite dentro del frasco.
4. Cerrar herméticamente la tapa del frasco y agitar durante 1 minuto.
5. Añadir 200 ml de agua desionizada al frasco.
6. Añadir 3 ml de solución amortiguadora de hidróxido de sodio 1N.
7. Añadir de 0,1 a 0,25 g de polvo Indicador Calver II.
8. Tapar de nuevo el frasco y agitar otra vez durante 2 minutos. Poner el frasco de un lado por 15 a 30 segundos para dejar que las dos fases se separen. Si un color rojizo aparece en la fase acuosa (inferior), esto indica que el calcio está presente.
9. Colocar el frasco en el agitador magnético o mezclador Hamilton Beach. Agitar solamente con la velocidad requerida para agitar la fase acuosa sin mezclar de nuevo las fases superior e inferior.
10. Valorar muy lentamente con EDTA de concentración molar de 0,1 o la solución de Versenato Fuerte. Un cambio de color muy marcado del color rojizo a un color azul-verde indica que se ha alcanzado el punto final

### ANEXO 3

## RESUMEN PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL LODO



**ANEXO 4**  
**RESULTADOS DE ESTABILIDAD ELECTRICA Y FILTRADO HT/HP BAKER**  
**HUGHES**

LODO	ESTABILIDAD ELECTRICA 48.9°C	FILTRADO HTHP 120°F
REPLICA 100% base	100	NO CONTROLA FILTRADO
REPLICA 70/30 3	83	12x2=24
REPLICA 100 % 2	78	NO CONTROLA FILTRADO
REPLICA 2 70/30	81	13.5x2=27
PRUEBA 70/30 base	73	17x2=34
PRUEBA 100 % 3	99	NO CONTROLA FILTRADO

FOTOS



CONCLUSIONES

1. Los filtrados 70/30 se separaron debido a que el valor de estabilidad eléctrica es muy bajo y por lo tanto la emulsión no es estable.
2. Los filtrados al 100% no tienen emulsión y por esto el filtrado es muy alto y no controla el filtrado

  
John González Sandoval  
Técnico de Laboratorio

**ANEXO 5**  
**HOJA TÉCNICA ACEITE VEGETAL DE AGUACATE**



**CERTIFICATE OF ANALYSIS**

**NATURA-TEC AVOCADO OIL-REFINED**

Date, 06/01/2021

INCI EU:	Persea Gratissima Oil
INCI US:	Persea Gratissima (Avocado) Oil
CAS:	8024-32-6
EINECS:	232-428-0
PRODUCTION DATE	01/2021
BATCH NUMBER	6527N21/01

	Specification	Result	Method
Appearance, 25°C	Liquid	Conform	Visual
Color, Yellow/Red	≤50Y/5,0R	3,5Y/0,3R	Lovibond cell 5" %
Odor	Faint characteristic	Conform	Olfactory
Cloud point, °C	0 max.	Conform	AOCS Cc6-25
Pour point, °C	-4 max.	Conform	ASTM D97-87
Specific gravity, 20°C	0,910 – 0,925	0,918	ASTM D1298-85
Refractive index	1,460-1,480	1,471	AOCS Tp1a-64
Acid value, mgKOH/g	0,5 max.	0,1	AOCS Cd3d-63
Iodine value, gI <sub>2</sub> /100g	75,0 – 100,0	97,0	AOCS Tg2a-64
Saponification value, mgKOH/g	180,0 – 195,0	193,1	AOCS Cd3-25
Peroxide value, meqO <sub>2</sub> /kg	10,0 max.	0,4	AOCS Cd8-53
Unsaponifiable matter, %	3,0 max.	Conform	AOCS Ca6b-53

Note: Due to the product's nature, natural waxes may form at room or lower temperatures.

Expiry Date      01/2022

Quality Control

Cynthia SACQUIN



© 2021. 3a11 - 100000000 Natura Tec Brasil

## ANEXO 6

### HOJA TÉCNICA ACEITE ESENCIAL DE NARANJA

#### ESPECIFICACION TÉCNICA

NOMBRE DEL PRODUCTO		ACEITE DE NARANJA	
Nombre IUPAC		Citrus sinesis L. Osbeck	
Nombre CAS		8028-48-6 / 8008-57-9	
TIPO DE PRODUCTO		ACEITE ESENCIAL 100% NATURAL	
PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS			
PARAMETRO	ESPECIFICACIONES	METODO	
APARIENCIA	Líquido Traslucido	Físico	
DESCRIPCION OLFATIVA	Fragancia cítrica, fresca, naranja	N/A	
COLOR	Amarillo o Naranja	Físico	
DENSIDAD 20°C	0,838 - 0,858 g/ml	PICNÓMETRO	
D'LIMONELO	95,53%	INTERNO	
INDICE DE REFRACCION °C	1,465 - 1,476	Refráctometro	
<b>ESPECIFICACION DEL PRODUCTO</b>		Este producto al ser de origen natural, se somete a un proceso de extracción en frío, presentando partículas en el producto características de este mismo.	
<p><b>NOTA:</b> todo producto se debe almacenar en un lugar fresco, seco y lejos de la luz, permanecer tapado después de cada uso. <b>VIDA UTIL:</b> 18 meses según manipulación y almacenamiento. La información contenida en este documento es el resultado de las investigaciones y ensayos. Nuestras sugerencias no relevan a nuestros clientes de la necesidad de probar o hacer sus propios ensayos, siendo su responsabilidad y el buen manejo de los mismos.</p>			
FECHA DE EMISION: NOVIEMBRE 20 DEL 2020			

**ANEXO 7**  
**FACTURACIÓN DE COSTOS MATERIA PRIMA**

Página 1 de 1



**COMERCIALIZADORA DYM S.A.S.**  
Nit 900199863 9

**Factura Electrónica De Venta No FVE 25183**

Documento oficial de autorización de numeración de facturación electrónica No. 18763003863388. Fecha: 27 enero 2020.  
Vigencia: 18 meses. Habilita prefijo FVE desde el 22451 hasta el 28450.

**IVA Régimen Común No somos Agentes de Retención de IVA**  
**No somos Grandes Contribuyentes**  
Actividad Económica ICA 4884 11.04 X 1000

Código:	HEIDY DAYANA MUNEVAR LEON	Forma de Pago:	Contado
Nit. / C.C.	1001341095	Fecha de Factura:	01/03/2021
Dirección:	CLL 42 A SUR # 781 - 48	Fecha Vencimiento:	01/03/2021
Ciudad:	Bogotá D.C.	Vendedor:	MAGDA CRISTINA VILLALOBOS RUIZ
Teléfono:	3023613019	Orden de Compra:	

ITEM	REFERENCIA	DESCRIPCION	CANT.	VR. UNITARIO	IVA	VALOR IVA	TOTAL
1	DSJ-NARANJA	ACEITE ESENCIAL DE NARANJA FCO X 500 ML	1	65.000	19%	12.350	65.000
2	DSJ-AQUA	ACEITE DE AGUACATE FCO X 500 ML	1	70.000	19%	13.300	70.000
3	8008871000	SODIO SULFATO ANHIDRO ACS X 1 KG, SCHARLAU	1	70.800	19%	13.452	70.800
4	EMUL-350	EMULSIFICANTE EMULSOGEN "CREMOFOR" X 250 GR USO COSMETICO	1	15.000	19%	2.850	15.000

Valor en letras: DOSCIENTOS SESENTA Y DOS MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y DOS PESOS MCTE	<b>SUBTOTAL</b>	220.800
	<b>DESCUENTO</b>	0
	<b>IVA</b>	41.862
	<b>RETEFUENTE</b>	0
	<b>RETEIVA</b>	0
	<b>RETEICA</b>	0
	<b>TOTAL A PAGAR</b>	262.762

Esta factura de venta es un título valor negociable según la ley 1291 de Julio 17/2008 (modificada Art. 774 C.C.).  
En caso de mora se causara el interés autorizado por la ley.  
Se hace constar que la firma de una persona distinta del índice que dicha persona está autorizada expresamente por el comprador para firmar, confiere la deuda y obliga al comprador.  
Recibo de conformidad los servicios de que trata esta factura y acepto el valor estipulado en la misma.

FAVOR REALIZAR SUS PAGOS A LA CUENTA DE AHORROS DAVIVIENDA No. 13864016. CUENTA CTE. BANCOLOMBIA No. 04612574132. CUENTA CTE. ITAU No. 102034907 A NOMBRE DE COMERCIALIZADORA DYM S.A.S



**Representación Gráfica de la Factura de Venta Electrónica**

Fecha y Hora de Generación: 01/03/2021 17:06:06

Medios de Pago: Efectivo

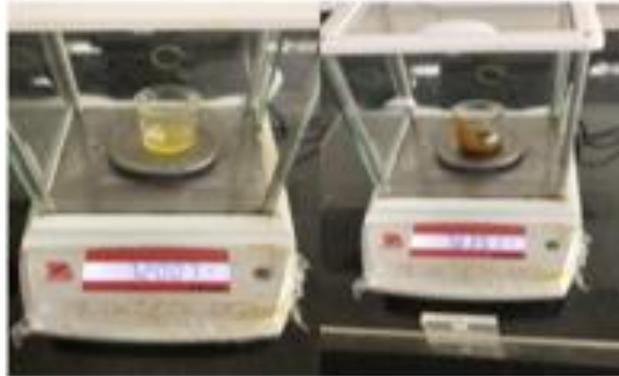
**CL 2 72 B 45 Teléfono 2739431 - 4522937 - 4501307**  
**info@comercializadordym.com - www.comercializadordym.com - Bogotá - Colombia**

CUFE: 8a71156a6e7896e6e4d5e057d387d022d48213e72a03d2b16dcb6e4d0f6410496c6e7f0d83b6e6e904c - Expedición: 01/03/2021 05:10 PM  
Fabricante y Proveedor Tecnológico: World Office Colombia SAS Nit 90053456-3 Software: World Office (v6\_2)

## ANEXO 8

### RESULTADOS PRUEBA DE % ACIDOS GRASOS LIBRES

Muestras de ácidos grasos



Aparición del primer tinte rosa permanente en el ácido graso.



Ácidos Grasos Libres de Aguacate.

$$\%A.G.L \text{ como oleico} = \frac{22.4 \text{ mL NaOH} \times 0.25 \times 28.2}{7.2007} = 21.93\%$$

$$\%A.G.L \text{ como láurico} = \frac{22.4 \text{ mL NaOH} \times 0.25 \times 20.0}{7.2007} = 15.55\%$$

$$\%A.G.L \text{ como palmítico} = \frac{22.4 \text{ mL NaOH} \times 0.25 \times 25.6}{7.2007} = 19.91\%$$

Ácidos Grasos Libres de Naranja.

$$\%A.G.L \text{ como oleico} = \frac{11.2 \text{ mL NaOH} \times 0.25 \times 28.2}{7.6351} = 10.34\%$$

$$\%A.G.L \text{ como láurico} = \frac{11.2 \text{ mL NaOH} \times 0.25 \times 20.0}{7.6351} = 7.33\%$$

$$\%A.G.L \text{ como palmítico} = \frac{11.2 \text{ mL NaOH} \times 0.25 \times 25.6}{7.6351} = 9.39\%$$

## **ANEXO 14**

### **RECOMENDACIONES**

Evaluar otro tipo de aceite vegetal con el fin de establecer su desempeño y eficiencia en la extracción del ácido graso y en el control de las propiedades fisicoquímicas.

Evaluar el método de hidrolisis alcalina como un mecanismo alternativo de la extracción de ácidos grasos.

Determinar la composición de ácidos grasos extraídos por el método de hidrolisis acida mediante el uso de cromatografía de gases GC-FID.

Evaluar nuevas formulaciones de fluidos de perforación utilizando una mayor concentración emulsificante comercial (Cremophor CO), con la finalidad de validar la eficiencia del emulsificante comercial utilizado y así evaluar la estabilidad de la emulsión. Realizar una caracterización y evaluación fisicoquímica sobre el tipo de aceite mineral industrial utilizado en laboratorios a nivel nacional para la formulación de los fluidos de perforación patrón.

Realizar nuevas formulaciones de fluidos de perforación base aceite sintético-emulsión inversa utilizando emulsificantes no comerciales.